

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

# Zařízení pro lisování lanka

Equipment for Wire Pressing

Študent:

Bc. Michal Šranc

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

Ostrava 2015

MIESTOPRÍSAŽNÉ PREHLÁSENIE ŠTUDENTA

"Prehlasujem, že som celú predkladanú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru."

V Ostrave .....

.....

podpis študenta

Prehlasujem, že

- som bol oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb., autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského a § 60 - školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len "VŠB-TUO") má právo nezárobkovo k svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu užiť (§ 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že diplomová práca bude v elektronickej podobe uložená v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k nahliadnutiu a jeden výťah bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o kvalifikačnej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo dohodnuté, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením užiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo dohodnuté, že užiť svoje dielo - diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č 111/1998 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave .....

.....  
podpis

Meno a priezvisko autora práce:

Bc. Michal Šranc

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Odtoky 6/885  
3601 Martin

## ANOTÁCIA DIPLOMOVEJ PRÁCE

ŠRANC M. Zařízení pro lisování lanka: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 75 s. Vedúci práce: Učeň, O.

Diplomová práce sa zaoberá návrhom a konštrukciou montážneho lisovacieho zariadenia pre zalisovanie (montáž) bouden lanka. V úvode práce je rešerš na danú tému a získané informácie o danej problematike. V ďalšej kapitole som riešil prípravky, ktoré držia v správnej polohe súčiastky pri montáži (TBD O/S handle Base a support bracket O/S handle ) a samotné zariadenie na montáž bouden lanka do TBD O/S handle Base, čo je strojná súčiastka, ktorá je časťou celku, ktorý slúži na otváranie dverí automobilu. Túto montáž je potrebné vykonať pomocou montážneho zariadenia, ktoré vyvolá tlak na tieto súčiastky. Pri hľadaní najvhodnejšej varianty zohľadňujem technickú a funkčnú stránku veci a v neposlednom rade ľahkú ovládateľnosť a ergonómiu zariadenia. Po zvážení všetkých výhod, nevýhod a funkčnosti zariadenia som zvolil variantu s použitím pneumatického valca od firmy Festo. Práca obsahuje návrh celého pneumatického obvodu s funkčnou schémou a zoznamom pneumatických prvkov z katalógu firmy Festo. Nasledovali konštrukčné a pevnostné výpočty, ale taktiež MKP analýza, ktorá je súčasťou práce. Celá práca je doplnená výkresovou dokumentáciou.

## ANNOTATION OF THESIS

ŠRANC M. Equipment for Wire Pressing: Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 75 p. Thesis head: Učeň, O.

This thesis deals with a project and construction of equipment for Pressing (assembly) bouden wire. In the introduction of the thesis is search for a topic and the information on the subject. In the next chapter, I solve the preparations, which are held in position components for assembly (TBD O / S handle Base and support bracket O / S handle) and the device itself for installation in wire bouden TBD O / S handle Base, which is a component, machine, which is part of the whole which serves to open the door of the car. This installation should be performed by mounting device that causes pressure on these parts. When looking for the best type of account of technical and functional side of things, not least easy handling and ergonomic equipment. After considering all the advantages, disadvantages and functionality of the device I chose option of using a pneumatic cylinder of Festo. The thesis includes project of the whole pneumatic circuit with functional diagram and list of pneumatic components from Festo catalog. Followed design and strength calculations, but also MKP analysis, which is part of the thesis. The whole work is accompanied by the drawing documentation.

## Obsah

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV .....	9
ÚVOD.....	11
1. Lisovanie v montážnych procesoch .....	12
1.1. Ručné montáže lisy .....	13
1.2. Pneumatické montážne lisy .....	17
1.2.1. Význam pneumatických mechanizmov .....	21
1.2.2. Výhody a nevýhody pneumatických mechanizmov .....	22
2. Popis zadaného problému .....	23
2.1. Rozpis materiálu pre projekt JDe.....	23
2.2. Výrobné údaje - kapacity .....	24
2.3. Popis procesu .....	24
2.4. Funkčné požiadavky .....	24
2.5. Obsah práce.....	25
3. Návrh riešenia zadaného problému .....	26
3.1. Varianta A .....	26
3.2. Varianta B .....	28
3.3. Zdôvodnenie zvoleného riešenia .....	30
4. Návrh pneumatického zariadenia na zalisovanie lanka .....	31
4.1. Návrh konštrukčného riešenia prípravku TBD O/S handle Base .....	31
4.2. Návrh konštrukčného riešenia prípravku support bracket O/S handle .....	34
4.3. Konštrukčné uzly zariadenia.....	36
4.3.1. Rám stroja a krytovanie .....	36
4.3.2. Montážny modul.....	37
4.3.3. Lineárne vedenie .....	41
4.3.4. Pohon prípravku pre TBD O/S handle Base.....	42
5. Konštrukčné výpočty potrebné pre dimenzovanie zariadenia .....	45
5.1. Výpočet parametrov pneumatického valca DFM–B .....	45
5.1.1. Výpočet zaťažujúcej sily .....	45
5.1.2. Návrh priemeru piestu .....	46
5.1.3. Kontrola piestnice na vzper .....	47
5.1.4. Spotreba vzduchu na jeden pracovný cyklus.....	49
5.1.5. Dynamika pohonu .....	50
5.2. Výpočet parametrov pneumatického valca DSNU .....	52
5.2.1. Výpočet zaťažujúcej sily .....	52

5.2.2.	Návrh priemeru piestu .....	53
5.2.3.	Kontrola piestnice na vzper .....	54
5.2.4.	Spotreba vzduchu na jeden pracovný cyklus.....	55
5.2.5.	Dynamika pohonu .....	56
5.3.	Výpočet prietokovej priepustnosti pneumatického obvodu.....	58
5.3.1.	Výpočet prietokovej priepustnosti vetvy s pneumatikom DFM-B .....	59
5.3.2.	Výpočet prietokovej priepustnosti vetvy s pneumatikom DSNU .....	61
6.	Prvky pneumatického obvodu.....	63
6.1.	Spoločné prvky v obvode .....	63
6.2.	Prvky obvodu pneumatika DFM-B .....	64
6.3.	Prvky obvodu pneumatika DSNU .....	65
7.	MKP analýza .....	66
8.	Záver .....	72
9.	Zoznam použitej literatúry .....	73
ZOZNAM PRÍLOH .....		75

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV

$D$	Priemer piestu	[mm]
$E$	Modul pružnosti oceli v ťahu	[Pa]
$F_B$	Sila od tiaže bremena	[N]
$F_C$	Celková zaťažujúca sila	[N]
$F_{KR}$	Kritická sila	[N]
$F_{KR\,dov}$	Prípustná kritická sila	[N]
$F_{SK}$	Skutočná sila	[N]
$F_{SK\,max}$	Kontrola na hraničný prípad vzperu v konečnej polohe	[N]
$F_T$	Tretia sila	[N]
$F_Z$	Sila potrebná na zalisovanie bouden lanka	[N]
$H$	zdvih valca	[m]
$J$	Moment zotrvačnosti	[m <sup>4</sup> ]
$K$	Modul objemovej pružnosti	[Pa]
$Q_I$	Prietok vzduchu motorom	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$Q_{IN}$	Prietok vzduchu motorom prepočítaný na normálne	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$Q_{Ne}$	Ekvivalentný prietok vetvy s pneumotorom DFM-B	[l.min <sup>-1</sup> ]
$Q_{STR}$	Stredná spotreba vzduchu na jeden pracovný cyklus	[l.min <sup>-1</sup> ]
$R_L$	Odpor bouden lanka, ktorý pôsobí na valec pri vracaní sa do základnej polohy	[N]
$R_O$	Odpor tesnenia	[N]
$S$	Plocha piestu	[m <sup>2</sup> ]
$V_1$	Objem vzduchu pri vysúvaní piestnice	[m <sup>3</sup> ]
$V_2$	Objem vzduchu pri zasúvaní piestnice	[m <sup>3</sup> ]
$V_C$	Celkový objem vzduchu na jeden pracovný cyklus	[m <sup>3</sup> ]
$V_{CN}$	Celkový objem vzduchu na jeden pracovný cyklus prepočítaný na normálny stav	[m <sup>3</sup> ]
$a$	Zrýchlenie a spomalenie pri rozbehu a brzdení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$a_1$	Súčiniteľ trenia tesnenia piestu	[-]
$d$	Priemer piestnice	[mm]
$d_2$	Priemer vodiacich piestnic	[mm]
$d_v$	Priemer hadice k pneumotoru	[mm]
$f_0$	Súčiniteľ šmykového trenia lineárneho vedenia	[-]
$f_0$	Vlastná frekvencia pneumatického valca	[Hz]
$g$	Tiažové zrýchlenie	[m.s <sup>-2</sup> ]
$k$	Súčiniteľ bezpečnosti	[-]
$l_{RED}$	Redukovaná dĺžka	[mm]
$m$	Hmotnosť potrebná na zalisovanie lanka	[kg]
$n$	Polytropická kompresia	[-]
$p_1$	Pracovný tlak	[MPa]
$p_{1\,abs}$	Absolútny tlak	[Pa]
$p_2$	Výfuk rozvádzača	[MPa]
$p_N$	Atmosférický tlak	[Pa]
$p_p$	Pracovný pretlak	[Pa]

$t_b$	Doba brzdenia	[s]
$t_c$	Čas jedného pracovného cyklu	[s]
$t_r$	Doba rozbehu	[s]
$v_p$	Rýchlosť prúdenia	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_u$	Ustálená rýchlosť pohybu valca	[m.s <sup>-1</sup> ]
$\Delta p_a$	Tlakový spád potrebný pre rozbeh	[Pa]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\omega$	Vlastná uhlová rýchlosť	[rad.s <sup>-1</sup> ]



## ÚVOD

Diplomová práca sa zaoberá návrhom a konštrukciou montážneho lisovacieho zariadenia pre zalisovanie (montáž) bouden lanka. V strojárstve znamená montáž zmontovanie (respektíve zostrojenie) nejakého strojného alebo prístrojového zariadenia z jednotlivých súčiastok alebo čiastkových celkov do jedného výsledného funkčného celku (stroja). V oblasti montážnych procesov je nevyhnutné podrobne riešiť aj jednotlivé technologické operácie. Jednou z nich je lisovanie. V oblasti montážnych operácií tvorí lisovaný spoj stále okolo 15% všetkých typov spojov.

V úvode práce je rešerš na danú tému a získané informácie o danej problematike. Tieto informácie by mi mali pomôcť pri konečnom spracovaní konštrukčného návrhu.

V ďalšej kapitole mojej práce som riešil samotnú montáž bouden lanka do TBD O/S handle Base, čo je strojná súčiastka, ktorá je časťou celku, ktorý slúži na otváranie dverí automobilu. Túto montáž je potrebné vykonať pomocou montážneho zariadenia, ktoré vyvolá tlak na tieto súčiastky. Tie majú určitý vzájomný presah, aby bolo zaručené vzájomné trenie a aby držali pohromade. Takúto montáž je možné vykonať niekoľkými spôsobmi. Pri hľadaní najvhodnejšej varianty zohľadňujem technickú a funkčnú stránku vecí a v neposlednom rade ľahkú ovládateľnosť a ergonómiu zariadenia. Po zvážení všetkých kladov a záporov navrhnutých variant zvolím tú najlepšiu.

V priebehu návrhu je treba vykonať konštrukčné a pevnostné výpočty, ale taktiež MKP analýzu, ktorá je tiež súčasťou tejto práce. Po dokončení návrhu modelu spracujem výkresovú dokumentáciu. Návrh modelu zariadenia a spracovanie výkresovej dokumentácie som vykonal v programe Autodesk Inventor Professional 2014.

Dôveru v riešení tohto problému mi dala spoločnosť DUSS GROUP, s.r.o. so sídlom v Martine. V súčasnosti patrí táto spoločnosť k významným dodávateľom elektrických zariadení a strojov. V Slovenskej republike pôsobí ako silný a stabilný partner pre dodávku vysoko sofistikovaných elektrotechnických riešení. Je vyhľadávaným dodávateľom technológií vďaka vysokej kvalite, prijateľnej cene, spoľahlivosti a službám, ktoré poskytuje svojim moderným vybavením v rámci celej Európy a Ázie.

## **1. Lisovanie v montážnych procesoch**

V oblasti montážnych procesov je potrebné detailne riešiť jednotlivé technologické operácie. Jednou z nich je montáž pomocou montážnej lisovacej jednotky. Montážna lisovacia jednotka sa od klasickej lisovacej jednotky líši v použitom tlaku. Montážna lisovacia jednotka používa oveľa menšie tlaky aby nedošlo k poškodeniu súčiastky, ale aby zároveň bola dosiahnutá požadovaná montáž.

Lisovacie jednotky sú určené pre mechanizáciu a automatizáciu montážnych operácií. Predstavujú jednu zo základných stavebných jednotiek v malosériovej, sériovej ako aj v hromadnej výrobe. Aplikujú sa pri montáži drobných súčiastok a celkovo hlavne v strojárskom priemysle. Lisovacie jednotky sú po zakladacích jednotkách druhé najpoužívanjšie. [1]

Lisovacie jednotky môžu pracovať v ručnom, poloautomatickom a automatickom režime.

Delenie podľa druhu hnacej energie pracovného ústrojenstva:

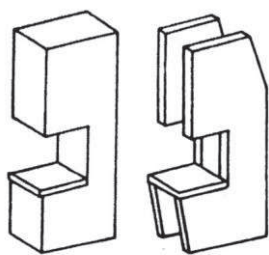
- mechanické - sila je privádzaná z energetického zdroja mechanicky - pákou, kľukou, vretenom, hrebeňom, vačkou, pružinou, valcami, kladkami atď.
- pneumatické - pracovná energia sa vyvodzuje tlakom vzduchu z cudzieho zdroja
- hydraulické - sila je privádzaná z energetického zdroja tlakom kvapaliny
- parné - pracovná energia sa vyvodzuje privádzanou tlakovou parou
- kompresorové - pracovná energia sa vyvodzuje tlakovým vzduchom z kompresora
- elektromagnetickej - pohybová energia je udeľovaná elektromagnetom
- ručné, nožné - tvárniace sila je nepriamo vyvedená pôsobením ľudskej sily
- ostatné - výbušné, elektrickou kapacitou atď.

Delenie podľa konštrukcie a tvaru:

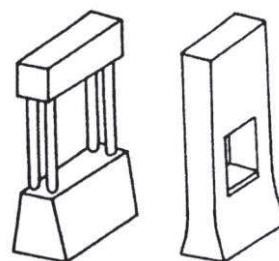
Základnou časťou lisovacej jednotky je samotný rám. Tvorí nosnú konštrukciu celej lisovacej jednotky. Slúži na uchytenie jednotky a pripevňujú sa naň regulačné a bezpečnostné prvky. Konštrukcia rámu lisovacej jednotky prenáša zaťaženie a sily vznikajúce pri procese lisovania. Samotný rám môže mať rôzne konštrukčné prevedenia. Podľa usporiadania stroje delíme tváriace stroje na zvislé, vodorovné, šikmé, uhlové, naklápacie, združené a iné. [1]

Typy rámov lisovacích jednotiek:

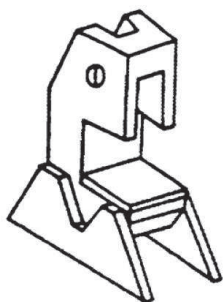
- Otvorený stojan - C rám
- Uzavretý stojan - O rám
- Naklápací stojan
- Šikmý stojan



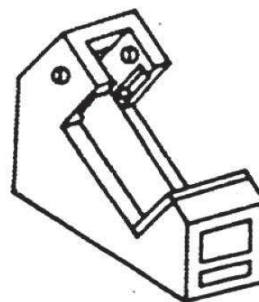
Obr. 1. Otvorený stojan - C rám [1]



Obr. 2. Uzavretý stojan - O rám [1]



Obr. 3. Naklapací stojan [1]



Obr. 4. Šikmý stojan [1]

### 1.1. Ručné montáže lisy

Produktívna výroba si vyžaduje efektívne výrobné prostriedky - nie automatizáciu za každú cenu. Pri malých výrobných dávkach sú manuálne lisy často cenovo najvýhodnejším riešením. [2]

Pre dosiahnutie rozličných výrobných cieľov sa neustále rozširuje ponuka manuálnych lisov. Skúsenosti z veľkého množstva doterajších aplikácií sú následne implementované do aktuálnych modelov. Vďaka tomu je možné nájsť širokú škálu manuálnych lisov, ktorá vyhovuje všetkým požiadavkám. [2]

Vlastnosti: [2]

*Flexibilita*

- rýchle prestavenie vďaka jednoduchému nastaveniu pracovnej výšky
- základná doska stola umožňuje opakované polohovanie nástroja
- rýchle zostavovanie nástrojov vďaka lícovaným otvorom a základnej doske

*Ergonómia*

- možnosť polohovania páky v rozsahu 360°
- možnosť prevedenia pre ľavákov aj pravákov
- upínacie plochy zabezpečujú bezpečné upevnenie rukoväte

*Bezúdržbovosť*

- nie je potrebné žiadne mazanie

*Presnosť*

*Dlhá životnosť*



Obr. 5. Príklad ručného lisu [3]

### **Ručné hrebeňové lisy:**

Hrebeňové lisy umožňujú lineárny priebeh sily pri lisovaní. Preto sú využiteľné pri činnostiach kde sa vyžaduje konštantná sila menšej intenzity a dlhší zdvih. Ich využitie je najmä pri malých montážnych prácach a pri lisovaní súčiastok s väčšou výškou.

Vlastnosti: [2]

- dlhý zdvih
- lineárny priebeh sily
- presné nastavenie lisovacej hĺbky vďaka tvrdenému spodnému dorazu
- dlhá životnosť a presné vedenie

Použitie: [2]

- vkladanie puzdier, osí a ložísk do telies alebo hlbokých dier
- montáž komponentov s veľkou montážnou výškou
- deformácia na dlhých dráhach
- jemná "hodinárska" práca



Obr. 6. Ručné hrebeňové lisy [4]

### **Ručné klbové lisy:**

Klbové lisy bývajú v prevedení s okrúhlym alebo hranatým baranom. Hranatý baran je presnejší a zabezpečuje maximálnu ochranu voči jeho pootočeniu. Menovitá sila sa pri lisovaní dosiahne na konci pracovného zdvihu, kde prudko narastá.

#### **Vlastnosti: kruhový baran:** [2]

- vysoká sila na konci zdvihu
- presné nastavenie lisovacej hĺbky vďaka tvrdenému spodnému dorazu
- dlhá životnosť a presné vedenie

#### **Vlastnosti: hranatý baran:** [2]

- vysoká sila na konci zdvihu
- hranatý baran je odolný voči pootočeniu (nie sú potrebné vedenia)
- presné nastavenie lisovacej hĺbky vďaka tvrdenému spodnému dorazu
- presné vedenie

#### **Použitie:**

Montáž, nitovanie, lemovanie, razenie, číslovanie, deformovanie, značenie, strihanie, deformácia na krátkych dráhach. [2]



Obr. 7. Ručné klbové lisy [5]

**Ručné lisy s kontrolou lisovacej sily a dráhy:**

Ručný lis je vybavený integrovanou elektronickou kontrolou pracovného zdvihu.

Vlastnosti: [2]

- dlhý zdvih
- lineárny priebeh sily
- presné nastavenie pracovnej hĺbky
- bezúdržbové, honované vedenia a brúsený baran poskytujú dlhú životnosť a sú odolné voči pootočeniu
- optimálne uloženie a upevnenie formy vďaka rybinovému vedeniu na lisovacej hlave
- výškové nastavenie prostredníctvom kľuky



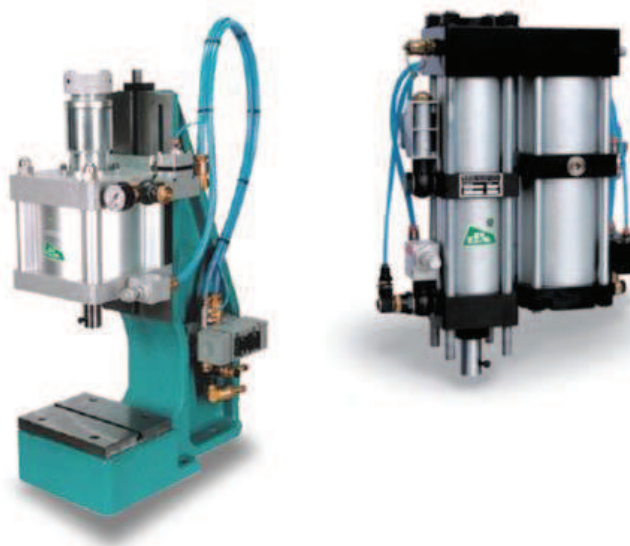
Obr. 8. Ručný lis s kontrolou lisovacej sily a dráhy [6]

## 1.2. Pneumatické montážne lisy

Pneumatické lisy umožňujú väčšie pracovné sily v širokom rozsahu. Existujú rôzne typy pneumatických lisov: pneumatické kĺbové lisy, pneumatické lisy s priamym účinkom, pneumatické lisy s ručnou pomocou a iné. Typ s ručnou pomocou sa v prvej časti zdvihu priblíži pomocou páky k súčiastke a samotné lisovanie vykoná pneumatically. Ovládajú sa pomocou dvoch ručných spínačov. Vďaka rôznym prevedeniam môžu byť tieto lisy použité buď ako samostatne stojace pracoviská alebo v automatickom režime.

Vlastnosti: [2]

- optimalizácia procesu prostredníctvom nastaviteľných parametrov (zdvih, sila, rýchlosť)
- jednoduché prispôsobenie rôznym výškam nástroja a dielu vďaka jednoduchému prestaveniu zdvihu a výšky
- ľahké a presné nastavenie nástrojov vďaka presnému otvoru
- dvojčinné valce odolné voči opotrebeniu s nízkou spotrebou vzduchu pre spätný zdvih
- vysoká flexibilita vďaka krátkym zoraďovacím časom
- dlhá životnosť a vysoká presnosť
- presný základný baran
- nízka úroveň hluku



Obr. 9. Pneumatický lis [7]

**Pneumatické lisy s priamym účinkom:**

Konštantná sila na dlhej dráhe je charakteristická pre pneumatické lisy s priamym účinkom.

Vlastnosti: [2]

- bezúdržbová valcová jednotka
- presná lisovacia hlava
- pracovná výška môže byť rýchlo a presne nastavená vďaka jednoduchej konštrukcii výškového nastavenia
- nastavenie spodnej polohy barana prostredníctvom presného spodného dorazu
- baran s presným otvorom pre upevnenie nástroja a zabudovaným nastaviteľným dorazom
- kruhový baran poistený proti pootočeniu
- rám s presnými vedeniami pre upevnenie lisovacej hlavy
- základná platňa s presnou drážkou a otvorom pre umiestnenie nástroja
- T-drážka s upevňovacími skrutkami v stole lisu

Použitie:

Montáž, lisovanie do telies s veľkou inštalačnou výškou, ohýbanie, demontáž, kalibrácia osí, puzdier, ložísk, deformácia na dlhých dráhach. [2]



Obr. 10. Pneumatické lisy s priamym účinkom [2]



### **Pneumatické klbové lisy:**

Klbové lisy bývajú v prevedení s okrúhlym alebo hranatým baranom pre zabránenie pootáčaniu.

#### **Vlastnosti:** [2]

- maximálna sila na konci zdvihu
- bezúdržbová valcová jednotka
- pracovná výška môže byť rýchlo a presne nastavená vďaka jednoduchej konštrukcii výškového nastavenia.
- baran s presným otvorom pre upevnenie nástroja a nastaviteľným dorazom
- kruhový baran poistený proti pootočeniu
- plne nastaviteľný antirotačný hranatý baran s presnými vedeniami, nie je potrebné dodatočné vedenie
- základná platňa s presnou drážkou a otvorom pre umiestnenie nástroja
- T-drážka s upevňovacími skrutkami v stole lisa

#### **Použitie:**

Montáž, nitovanie, lemovanie, razenie, číslovanie, deformovanie, značenie, demontáž, deformácia na krátkych dráhach. [2]



Obr. 11. Pneumatický klbový lis [2]

### **Pneumatické lisy - s kontrolou lisovacej sily a dráhy:**

Pneumatické lisy s monitorovaním sily a dráhy sú fungujú ako kompletný systém s riadiacou jednotkou. Tieto systémy sú charakterizované senzormi a zosilňovačmi signálu integrovanými v lisovacej hlave, ktoré sú vyhodnocované v reálnom čase. [2]

Vlastnosti: [2]

- lisovacie sily sú merané silovým senzorom, ktorý je integrovaný v barane, necitlivom voči bočným silám
- snímanie signálu nie je ovplyvňované vonkajšími interferenciami
- zosilňovač nameraných údajov je umiestnený priamo v lisovacej hlave, čo zaručuje krátke prenosové dráhy nezosilnených signálov
- plne nastaviteľný antirotačný hranatý baran s teflónovými vedeniami, nie je potrebné dodatočné vedenie



Obr. 12. Pneumatické lisy s kontrolou lisovacej sily a dráhy [6]

**Pneumatické jednotky:**

Dvojčinné pneumatické jednotky sú užitočnými komponentmi pre konštrukciu jednoúčelových zariadení. Môžu byť namontované nezávisle a sú vybavené magnetickou sadou pre detekciu príslušnej koncovej pozície prostredníctvom spínača na valci. Pneumatické jednotky je možné dodať s možnosťou upevnenia zboku alebo v prírubovom prevedení. Ku každej pneumatickej jednotke existuje veľké množstvo príslušenstva, ktoré je vhodné a závislé od konfigurácie a určenia pneumatickej jednotky.



Obr. 13. Pneumatické jednotky [8]

### 1.2.1. Význam pneumatických mechanismů

Výroba pneumatických prvků má stále rostoucí tendenci a to i napřík rostoucímu trendu modernizací hydraulických mechanismů a výrazný podíl na tom má i jejich elektronizace. V zemích s vysokými náklady na pracovní sílu má zvláště velký význam průmyslová automatizace. Tu se nejvíce projevuje přínos pneumatiky, její podíl v rámci průmyslu tekutinových mechanismů stále roste. Nepřetržitý růst počtu předaných jednotek a dosahovaného obrátu je důkazem skutečnosti, že pneumatika jako obor velmi dobře plní požadavky kladené na automatizační techniku, která je nyní v mnoha oblastech průmyslu nenahraditelnou součástí. Kým před asi dvaceti lety byl obrát na trhu s pneumatikou jen o něco málo větší než 20% obrátu v odvětví hydrauliky, nyní je to už asi 50%. Protože jde o poměrně nový obor, roste rychleji než jiné. [9]

Aplikační oblasti pro pneumatické mechanismy jsou velmi rozsáhlé a lze je jen těžko vyměnovat. Využívají se ve všech odvětvích strojírenství při konstrukci výrobních strojů, manipulačních a dopravních zařízeních a robotů, baličích a montážních zařízeních, strojů pro hutní a metalurgický průmysl, strojů pro stavebnictví atd. Pneumatické mechanismy mají v některých aplikacích nezastupitelné místo. Jsou to hlavně nejrozšířenější montážní linky v elektrotechnickém průmyslu, výrobní a montážní linky v automobilovém průmyslu, linky pro sklářský průmysl, baliče a transportní linky v potravinářském a farmaceutickém průmyslu a mnohé další. U pneumatických mechanismů lze jmenovat široký sortiment vyráběných pneumatických prvků, které v různých provedeních dosahují u výrobců (Festo, Bosch, Norgren, SMC) až několik stovek typů a rozměrů. Členitost sortimentu pneumatických prvků lze nejlépe vystihnout pomocí přímočarých pneumatických motorů, které se vyrábějí nejen s průřezem pístu kruhový, obdélníkový, čtverečný a dokonce i oválný. Právě tento široký sortiment pneumatických prvků vytváří vhodné podmínky pro nejrozšířenější aplikace pneumatických mechanismů. [9]



Obr. 14. Typy pneumatických mechanismů [8]

### 1.2.2. Výhody a nevýhody pneumatických mechanismů

Neustále sa rozširujúce používanie pneumatických mechanizmov pri konštrukcii moderných a výkonných strojov a zariadení svedčí o rade výhod a predností pneumatických mechanizmov pred mechanizmy hydraulickými, elektrickými a tiež pred mechanizmy tuhými.

#### Výhody pneumatických mechanizmov: [9]

- Výroba stlačeného vzduchu v priemyselných závodoch je spravidla centrálna s možnosťou dobrej účinnosti a zabezpečenie starostlivosti o jeho akosť.
- Rozvod stlačeného vzduchu sa deje jediným vodičom (rúrky, hadice) s jednoduchým a nenáročným pripájaním.
- Prevádzka pneumatického zariadenia umožňuje čistotu prevádzkového prostredia, potrebnú najmä v potravinárskom, farmaceutickom a odevnom priemysle.
- Možnosť práce pneumatického mechanizmu v značnom rozmedzí teplôt okolitého prostredia, lebo aj veľký teplotný rozsah nemá vplyv na vlastnosti vzduchu.
- Významná je možnosť preťažiteľnosti pneumatického mechanizmu až k úplnému zastaveniu a to s vylúčením možnosti poškodenia jeho mechanických častí.
- Veľká rýchlosť vykonávaných operácií, u priamočiareho pohybu až 8-krát rýchlejšie než u mechanizmov hydraulických či elektrických.
- Jednoduchá rýchlostná, otáčková, silová a výkonová regulácia.
- Možnosť komplexnej automatizácie pneumatických mechanizmov.
- Pneumatické mechanizmy zaručujú bezpečnosť prevádzky i vo výbušnom a zápalnom prostredí, kde elektrické zariadenia vyžadujú špeciálne prevedenie.
- Pretože pneumatické mechanizmy pracujú s vnútorným pretlakom, zabraňuje sa tým vnikaniu nečistôt z okolia (prašné prostredie).
- Jednoduchá montáž a údržba, ktorá nekladie zvláštne nároky na kvalifikáciu personálu.

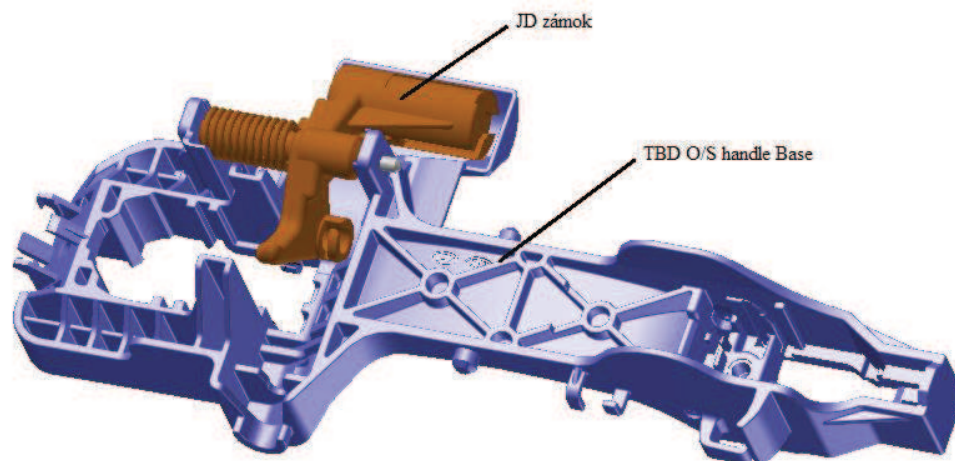
#### Nevýhody pneumatických mechanizmov: [9]

- Stlačený vzduch musí byť pre spoľahlivú činnosť patrične upravený: zbavený mechanických nečistôt, vlhkosti a vody a v niektorých prípadoch premazaný olejovou hmlou k zabezpečeniu mazania pohybujúcich sa prvkov.
- Hlučnosť vznikajúca od expandovaného vzduchu na výstupe z pneumatického prvku, najmä pri veľkých prietokoch (stovky až tisíce dm<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>).
- Stlačiteľnosť vzduchu, ktorá na jednej strane prináša skôr uvedenú výhodu možnosť preťažiteľnosti, na druhú stranu spôsobuje malú tuhosť mechanizmu a pri premenlivom zaťažení ťažko dosiahnuteľnú presnosť regulácie rýchlosti a súslednosť pohybov.
- Stlačený vzduch je najdrahšia energia a ekonomické straty vznikajú predovšetkým jeho rozvodom, ale aj nedokonalým využitím v pracovnom prvku neúplnou expanziou.

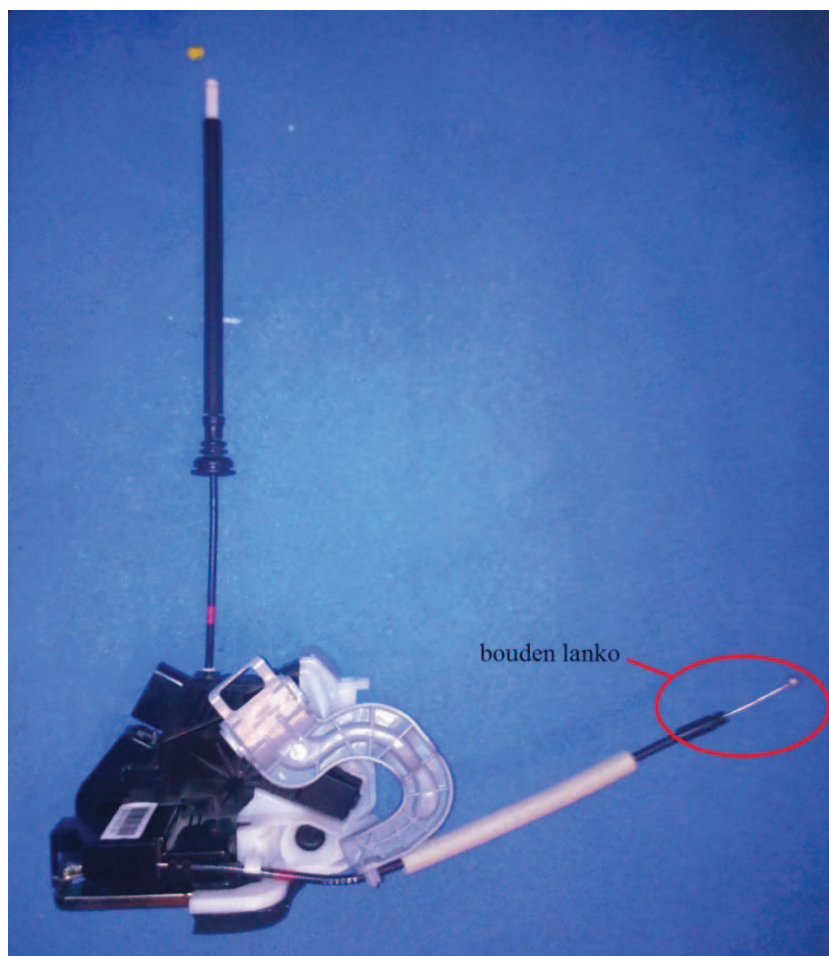
## 2. Popis zadaného problému

### 2.1. Rozpis materiálu pro projekt JDe

- 1 ks TBD O/S handle Base – viaceré typy (ľavý, pravý...)
- 1 ks support bracket O/S handle
- viacero typov JD zámkov



Obr. 15. TBD O/S handle Base



Obr. 16. support bracket O/S handle

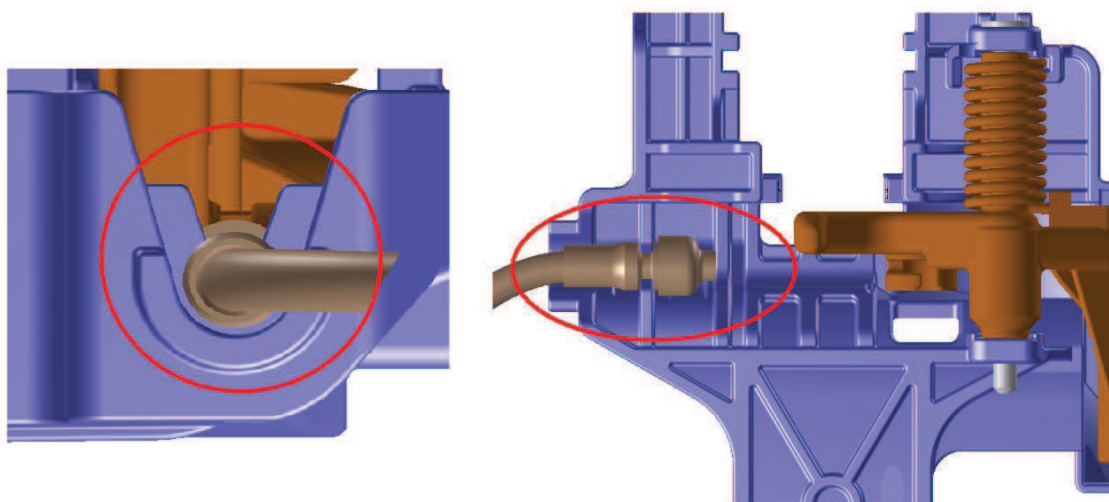


## 2.2. Výrobné údaje - kapacity

- kapacita pracoviska – 640 ks/zmenu pri využití pracoviska na 85%
- operačný takt na 1 výrobok vrátane manipulácie – založenie do prípravku, vykonanie operácie a odobratie dielu z prípravku a odloženie do prepravky
- 3 zmenná prevádzka
- obsluha – 1 operátor

## 2.3. Popis procesu

- Vziať zo zásobníka TBD O/S handle Base a zámok a TBD O/S HDL Base založiť do prípravku.
- Do zámku založiť support bracket O/S handle.
- Koniec lanka zámku založiť do TBD O/S handle Base a zámok založiť do držiaka zámku.
- Zalisovať lanko do TBD O/S handle Base – zámok sa musí uvoľniť z držiaka.
- Vziať zámok, preniesť ho na ďalšie pracovisko.



Obr. 17. Vložené lanko support bracket O/S handle do TBD O/S handle Base

## 2.4. Funkčné požiadavky

### Bezpečnosť:

- Stroj musí byť funkčný z hľadiska bezpečnosti po preverení Technickou Inšpekciou.
- Stroj musí spĺňať požiadavky STN EN 60 204 a príslušných noriem SR
- Stroj musí spĺňať požiadavky smernice 2006/42/ES

Ergonómia:

- Konštrukcia stroja a prípravkov musí zodpovedať ergonomickým zásadám.
- Zakladanie a vyberanie dielov musí byť jednoduché a bezproblémové.
- Zariadenie konštruovať pre stojacu obsluhu.

## **2.5. Obsah práce**

- Navrhnuť konštrukčné riešenie prípravku, do ktorého sa bude zakladať TBD O/S handle Base a support bracket O/S handle.
- Navrhnuť konštrukčné riešenie (2 varianty riešenia) na zalisovanie lanka do TBD O/S handle Base. Návrh treba optimalizovať z hľadiska výrobných kapacít, procesu, funkčných požiadaviek a pod.
- Vypracovať technickú správu s popisom funkcie oboch riešení so všetkými potrebnými výpočtami (stačí pri finálnej variante riešenia), porovnať výhody a nevýhody riešení.
- Vyhodnotiť pevnostnú analýzu všetkých dôležitých uzlov.
- Doložiť kompletnú výkresovú dokumentáciu
  - mechanická časť
  - dokumentácia katalógových nakupovaných dielov

### 3. Návrh riešenia zadaného problému

Riešenie zadaného problému (návrh zariadenia) je nutné riešiť z niekoľkých hľadísk. V prvom rade je nutné vyriešiť montážny modul:

Podľa spôsobu montáže:

- Ručná
- Pneumatická

Podľa spôsobu ovládania:

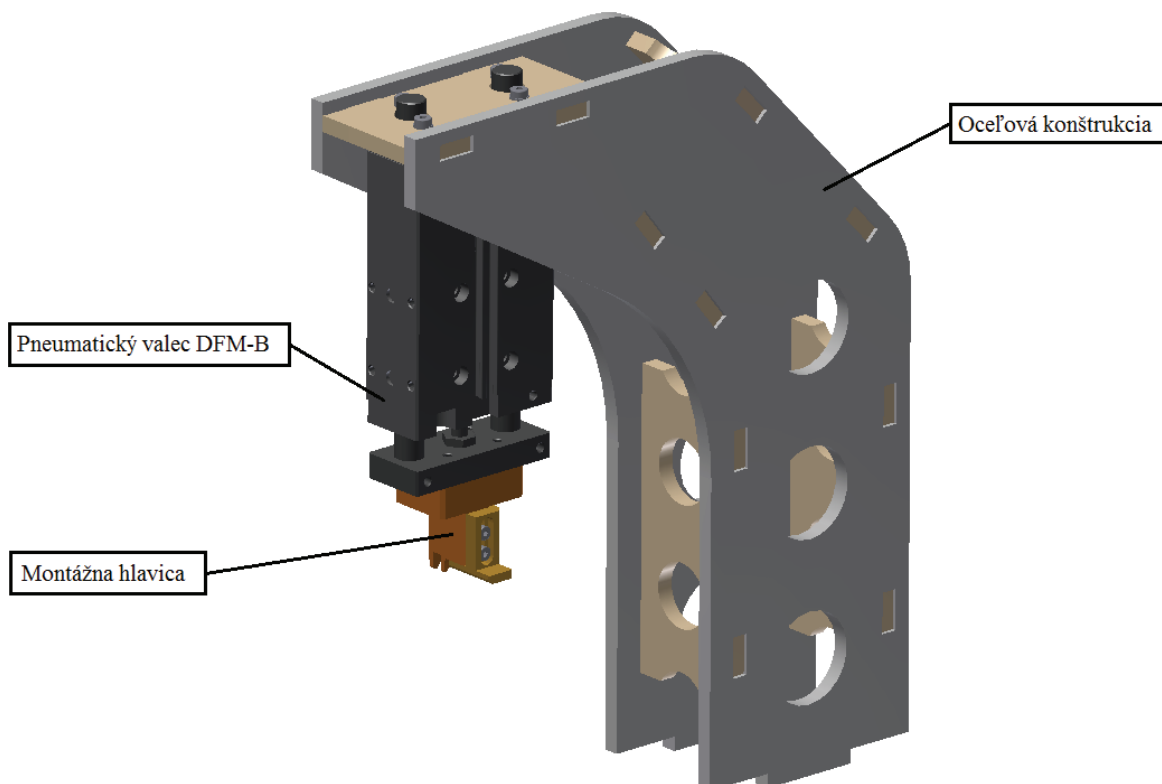
- Priame
- Nepriame

V druhom rade je potrebný návrh prípravkou zariadenia:

- prípravok TBD O/S handle Base
- prípravok support bracket O/S handle

#### 3.1. Varianta A

Montážny modul slúži na zalisovanie (montáž) bouden lanka do TBD O/S handle Base. Za montážny modul v prvej variante je možné považovať oceľovú konštrukciu, ktorá je nosnou časťou pre pneumatický valec, samotný pneumatický valec DFM-B od firmy Festo a montážnu hlavicu, ktorá je upevnená na konci valca.



Obr. 18. Montážny modul



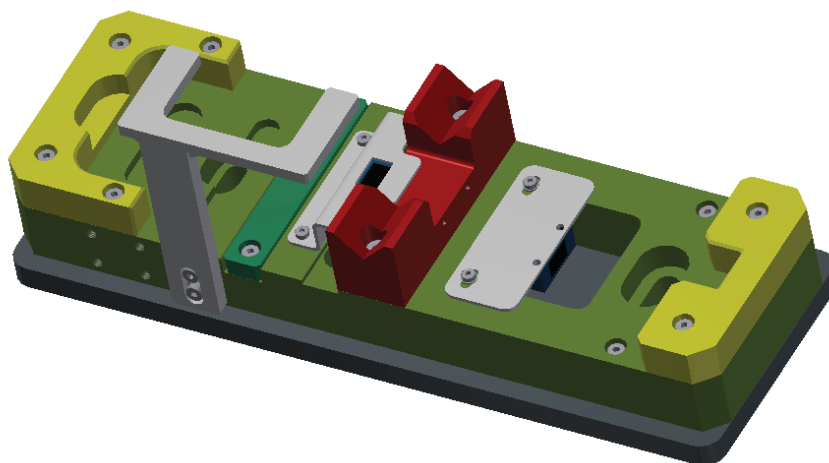
Oceľová konštrukcia je zvarenec z rôznych kusov oceľe, ktorá je nosnou časťou pre pneumatický valec a musí zaručovať dostatočnú pevnosť a tuhosť.

Pneumatický valec má označenie DFM-20-80-B-P-A-GF a je to dvojčinný pneumotor spoločnosti Festo, ktorý je vybavený vedením, ktoré zaistí stálu polohu montážnej hlavice.

Montážna hlavica je pripevnená na konci pneumatického valca a prichádza do priameho kontaktu s bouden lankom. Je navrhnutá tak aby svojim tvarom presne zatlačila na bouden lanko, ktoré sa následne zalisuje do TBD O/S handle Base.

### **Prípravok TBD O/S handle Base:**

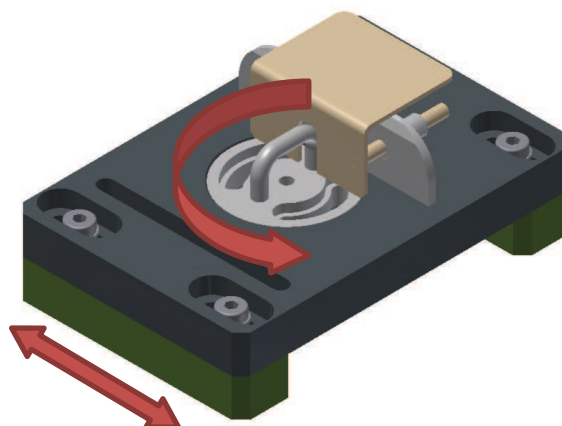
Prípravok je pomocné zariadenie, ktoré je určené na presné uloženie TBD O/S handle Base pri montáži lanka. Presné uloženie súčiastky sa chápe ako odobratie takmer všetkých stupňov voľnosti súčiastky. Prípravok obsahuje spodnú dosku prípravku, telo, oporné a ustavovacie prvky a ostatné časti prípravku (doraz, snímače...).



Obr. 19. Prípravok na TBD O/S handle Base

### **Prípravok support bracket O/S handle:**

Tento prípravok drží support bracket O/S handle pevne na mieste, kým sa lanko zalisuje do TBD O/S handle Base. Je flexibilne navrhnutý tak, že umožňuje natáčanie celého prípravku a jeho čiastočný posuv čo zvyšuje produktivitu výroby.



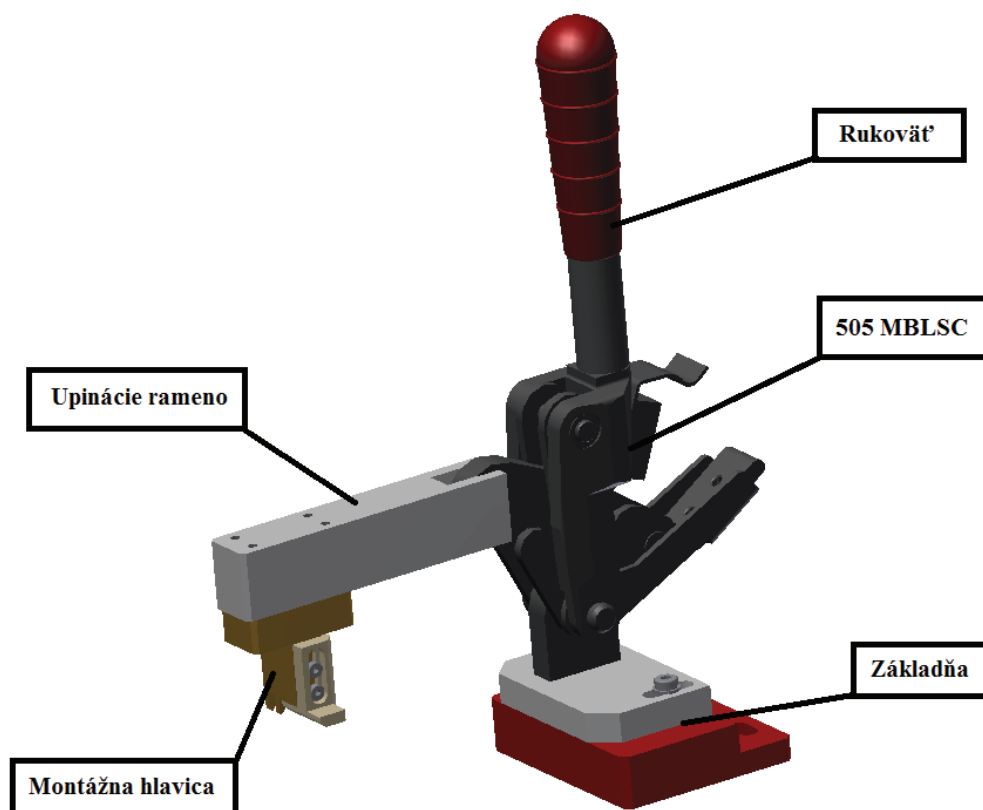
Obr. 20. Prípravok na support bracket O/S handle

### 3.2. Varianta B

Pre účel montážneho modulu v druhej variante som si vybral vertikálny modulárny upínač 505 MBLSC od spoločnosti Destaco. Toto zariadenie dokáže byť kompletne nakonfigurované tak aby spĺňalo požiadavky používateľa resp. použitia. S vhodným príslušenstvom sa často používa aj na montážne účely pomocou manuálnej sily. To je aj môj prípad.

#### Prednosti:

- flexibilita pre umiestnenie základne rukoväte a upínacieho ramena
- jednoduchý prístup k obrobku, uhol otvorenia až 200°
- voliteľné zariadenie na orientáciu v otvorenej polohe



Obr. 21. Manuálne montážne zariadenie

Tabuľka 1. Manuálne montážne zariadenie

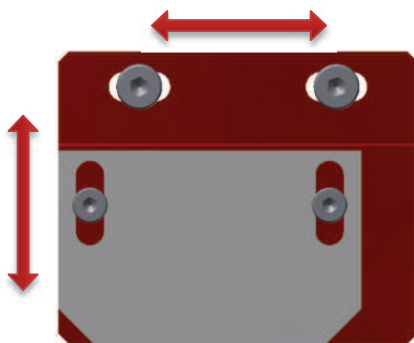
<b>Modelové označenie</b>	505-MBLSC
<b>Sila zalisovania</b>	Závislá od obsluhy, ale súčiastky sú konštruované aby dokázali vyvinúť silu 7 000 N
<b>Uhol otvorenia</b>	200°
<b>Hmotnosť</b>	1.50 kg

Základňa slúži na určenie presnej polohy zariadenia a k telu zariadenia je napevno prizváraná. Ako je vidieť na *obr. 22* základňa je navrhnutá tak aby umožňovala posuvy v osách x a y čo je dobré na presné zalisovanie resp. na pokrytie výrobných tolerancií.

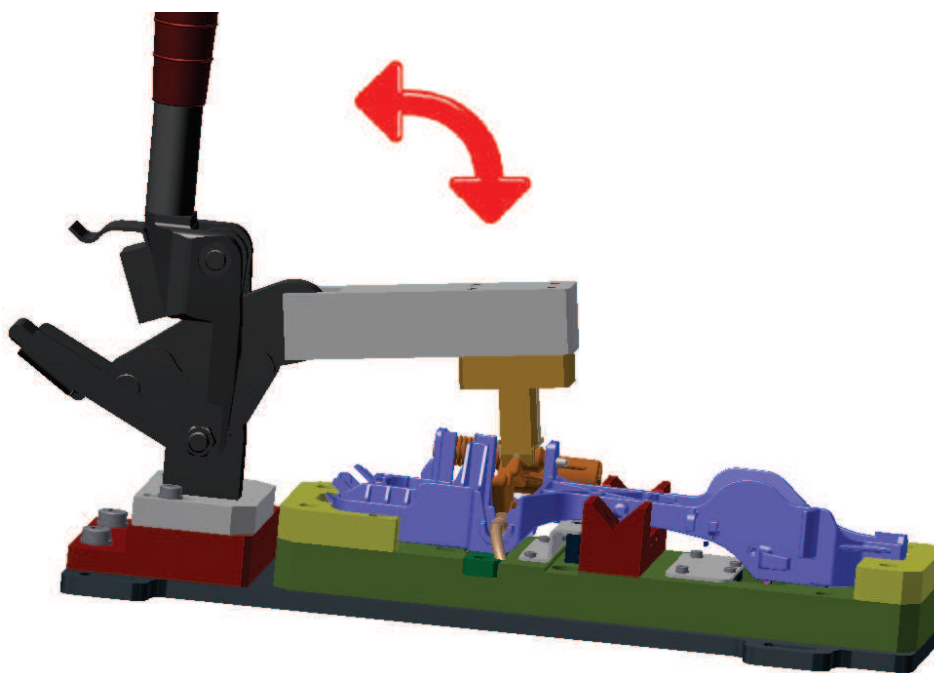
Telo je vyrobené z kvalitnej legovanej oceli aby odolávalo vysokým teplotám a veľkému zaťaženiu.

Rukovať a upínacie rameno sú tiež k telu zariadenia prizvárané pre čo možno najväčšiu tuhosť zariadenia.

Montážna hlavica v oboch variantách plní tú istú funkciu preto sa jej budem podrobnejšie venovať vo finálnom riešení zariadenia.



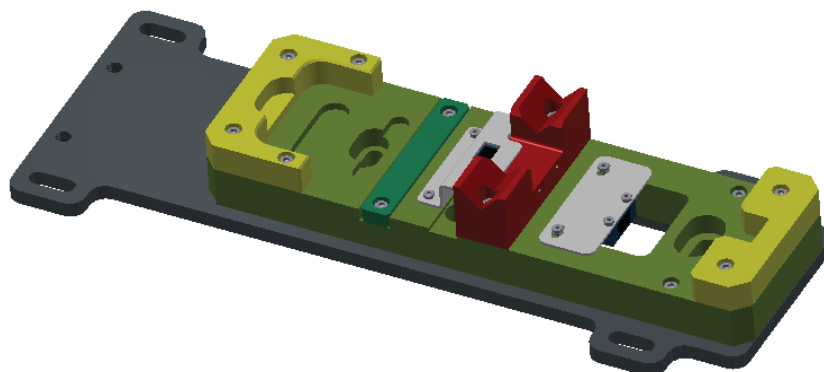
Obr. 22. základňa



Obr. 23. simulácia práce zariadenia

#### **Prípravok TBD O/S handle Base:**

Konštrukcia prípravku sa veľmi nelíši od predchádzajúceho riešenia pri použití pneumatického valca. Väčšina častí je rovnaká (telo prípravku, oporné a ustavovacie prvky, optické snímače, krytovanie), ale niektoré časti sú zmenené. Prípravok neobsahuje bezpečnostný doraz, lebo by tu bol zbytočný a základová doska prípravku je prispôbena celkovému riešeniu a konštrukcii manuálneho zariadenia na zalisovanie lanka. Ani tu som nezabudol na funkčnosť zariadenia a doska je navrhnutá tak že znáša isté tolerančné posuvy, ktoré zabezpečujú správne zalisovanie lanka v určitom tolerančnom rozsahu.



Obr. 24. Přípravok na TBD O/S handle Base

### **Prípravok support bracket O/S handle:**

Tento prípravok neprešiel žiadnymi zmenami, pretože žiadne neboli potrebné.

### **3.3. Zdôvodnenie zvoleného riešenia**

Treba spomenúť niektoré výhody a nevýhody oboch variant riešenia a porovnať ich.

Výhody varianty A (pneumatická montáž):

- konštantná sila vyvinutá na bouden lanko pri každej operačnom takte
- presné hodnoty tlaku (tlačnej sily)
- vyššia efektivita a výkonnosť práce
- menšia zmätkovitost'
- vyššia životnosť
- možnosť automatizácie práce

Výhody varianty B (ručná montáž):

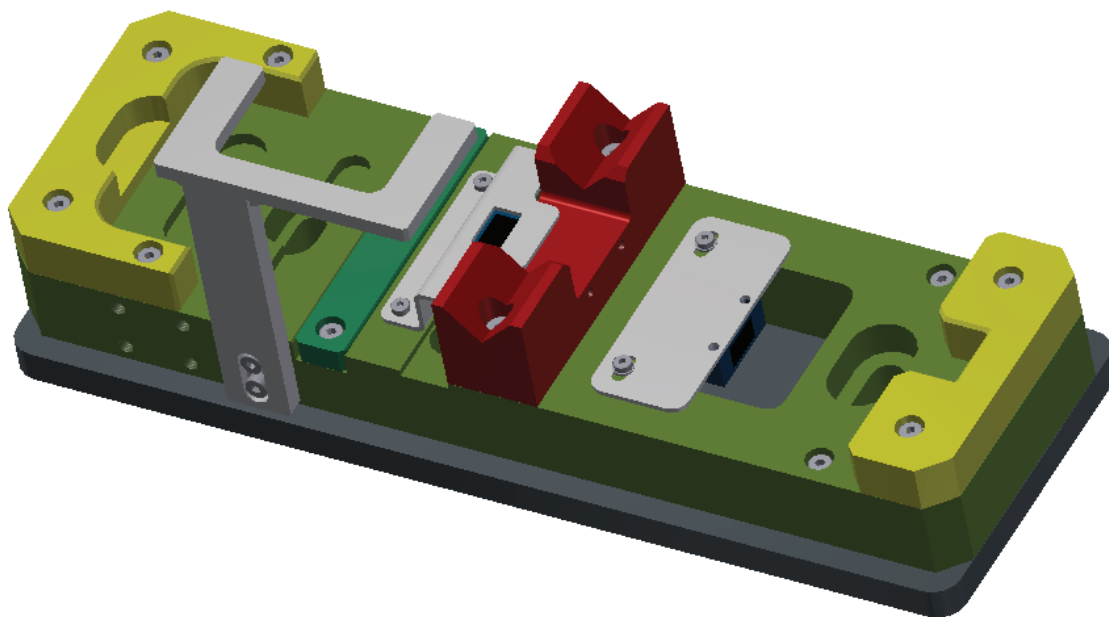
- lacnejšie obstarávacie náklady
- lacnejšia a jednoduchšia údržba
- jednoduchá konštrukcia
- nie je potrebné pomocné médium (stlačený vzduch)
- jednoduchý prístup k súčiastke – nie je potrebné lineárne vedenie a ďalšie zariadenie na posuv súčiastky kvôli zlepšeniu prístupu obsluhy k súčiastke

Nevýhoda varianty B (nekonštantná sila vyvinutá na bouden lanko, ktorá môže zapríčiniť na jednej strane nedostatočné zalisovanie lanka a na strane druhej jeho deformáciu použitím veľkej sily) je tá najzávažnejšia. Pre toto zariadenie je veľmi dôležité vyvodenie konštantnej sily na bouden lanko a tak zaistiť vždy presné a rovnaké zalisovanie každého kusu. Vyvodenie nekonštantnej sily pri jednotlivých montážach je pre toto zariadenie neprijateľné a použitím pneumatika sa eliminuje problematický faktor, ktorý vyvoláva túto chybu – človek. Ani spomenuté výhody varianty B nedokážu vyrovnať túto nevýhodu. Po odbornej konzultácii s technickým pracovníkom spoločnosti DUSS GROUP, s.r.o. sme sa rozhodli, že varianta A bude správna.

## 4. Návrh pneumatického zariadenia na zalisovanie lanka

### 4.1. Návrh konštrukčného riešenia prípravku TBD O/S handle Base

Prípravok je veľmi dôležitou pomôckou pri montáži. Je to pomocné zariadenie, ktoré je určené na presné uloženie TBD O/S handle Base pri montáži lanka. Presné uloženie súčiastky sa chápe ako odobratie takmer všetkých stupňov voľnosti súčiastky (dve posuvné a tri rotačné). Odobratie posledného stupňa voľnosti (posuv po zvislej osi smerom nahor), v tomto prípade nie je potrebné, lebo na súčiastku pôsobí tlak zhora, ktorý bráni súčiastke v pohybe zvislým smerom. V konečnom dôsledku zefektívňuje výrobu a zvyšuje produktivitu výroby.



Obr. 25. Prípravok na TBD O/S handle Base

#### Časti prípravku:

- Spodná doska prípravku
- Telo prípravku
- Oporné a ustavovacie prvky
- Ostatné...

#### Spodná doska prípravku:

Spodná doska prípravku slúži ako nosná časť celého prípravku, preto musí mať dostatočnú tuhosť. Na tejto súčiastke sú namontované ďalšie časti ako telo prípravku, oporné a ustavovacie prvky a pod. Samotná doska je pripevnená na klzné lineárne vedenie typu drylin N, po ktorom sa prípravok pohybuje.

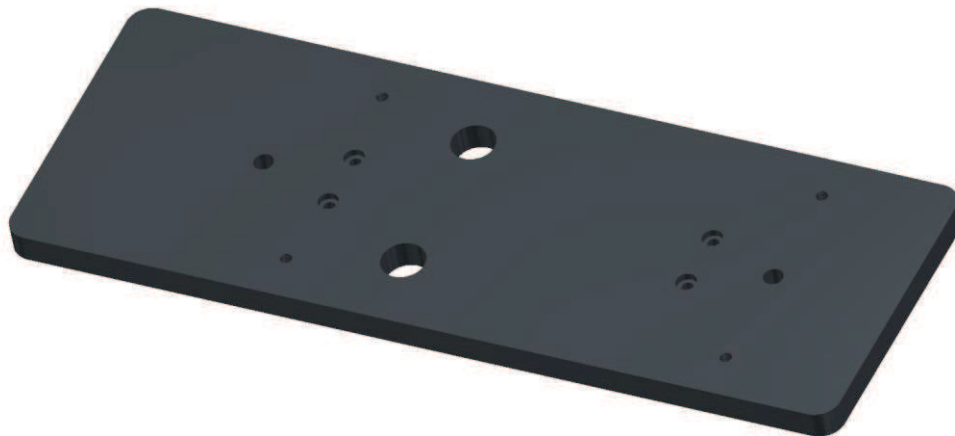
Délka = 294 mm

Šířka = 105 mm

Výška = 10 mm

Hmotnost = 0,396 kg

Materiál – Polymérový plast PBT GF 30 (TECADUR)



Obr. 26. Spodná doska prípravku

#### **Telo prípravku:**

Telo prípravku je základná ustavovacia časť prípravku, ktorá spája jednotlivé diely do celku. Na telo prípravku sa montujú ustavovacie prvky, ktoré zabezpečujú jednoznačnú polohu TBD O/S handle Base, optické snímače, ktoré kontrolujú polohu súčiastky, krytovanie týchto snímačov, bezpečnostný doraz pneumatického valca DFM-B, ale aj príruha pneumatického valca, ktorý zabezpečuje posuv prípravku.

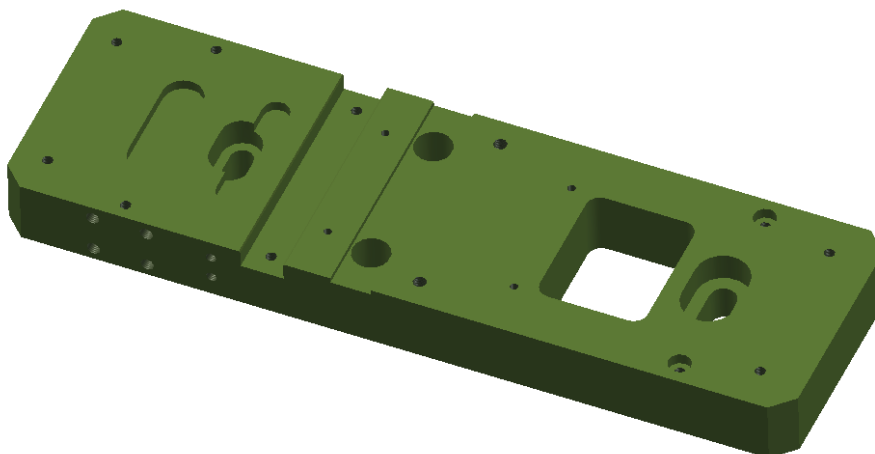
Délka = 294 mm

Šířka = 90 mm

Výška = 25 mm

Hmotnost = 0,740 kg

Materiál – Polymérový plast PBT GF 30 (TECADUR)



Obr. 27. Telo prípravku

### **Oporné a ustavovacie prvky:**

Medzi oporné a ustavovacie prvky patrí vrchný, spodný doraz a stredný vymedzovač polohy. Tieto prvky slúžia na presné a rýchle ustavenie TBD O/S handle Base do požadovanej polohy. Sú pevné a k telesu sú pripevnené skrutkami so zapustenou hlavou.

#### **Vrchný doraz:**

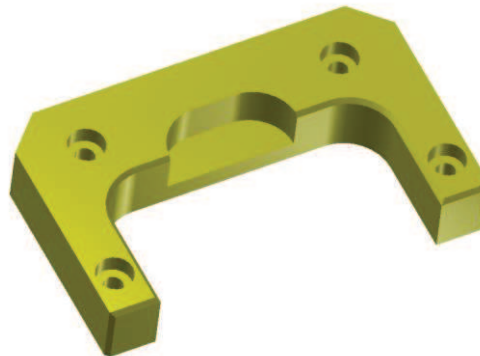
Dĺžka = 55 mm

Šírka = 90 mm

Výška = 15 mm

Hmotnosť = 0,048 kg

Materiál – Polymérový plast PBT GF 30  
(TECADUR)



Obr. 28. Vrchný doraz

#### **Spodný doraz:**

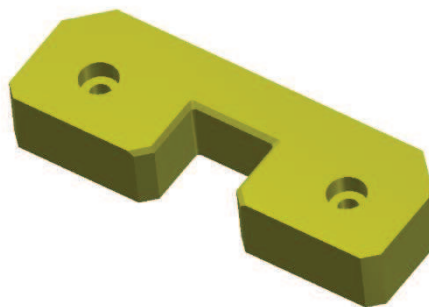
Dĺžka = 30 mm

Šírka = 90 mm

Výška = 15 mm

Hmotnosť = 0,044 kg

Materiál – Polymérový plast PBT GF 30  
(TECADUR)



Obr. 29. Spodný doraz

#### **Stredný vymedzovač polohy:**

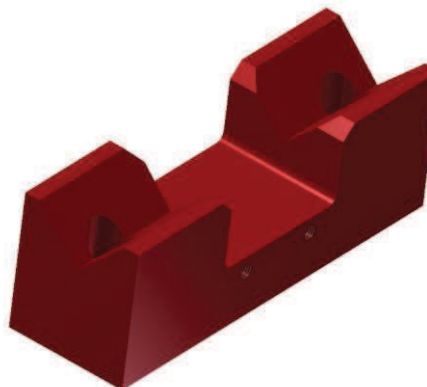
Dĺžka = 28 mm

Šírka = 90 mm

Výška = 31,2 mm

Hmotnosť = 0,071 kg

Materiál – Polymérový plast PBT GF 30  
(TECADUR)

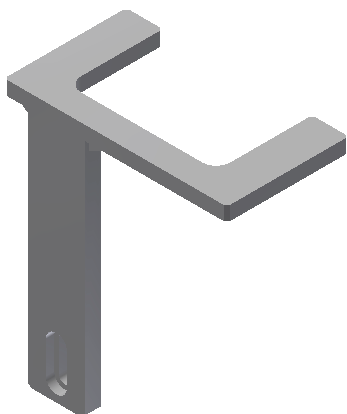


Obr. 30. Stredný vymedzovač polohy

### **Ostatné:**

Medzi ostatné časti prípravku TBD O/S handle Base patria optické snímače, ktoré kontrolujú správnu polohu TBD O/S handle Base v prípravku. Ak by poloha súčiastky v prípravku nebola správna, montáž by sa nespustila. Ďalej sem patria plechové krytovanie spomínaných snímačov, skrutky a pružné podložky.

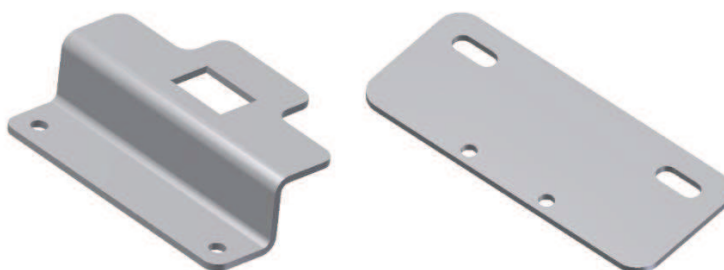
V neposlednom rade sem patrí bezpečnostný doraz pneumatického valca. Je výškovo nastaviteľný, aby pokryl tolerančné pole v akom môže byť TBD O/S handle Base vyrobený. Nie je primárne určený na zachytenie síl pri montáži, ako podrobnejšie vysvetlím v MKP analýze.



Obr. 31. Bezpečnostný doraz



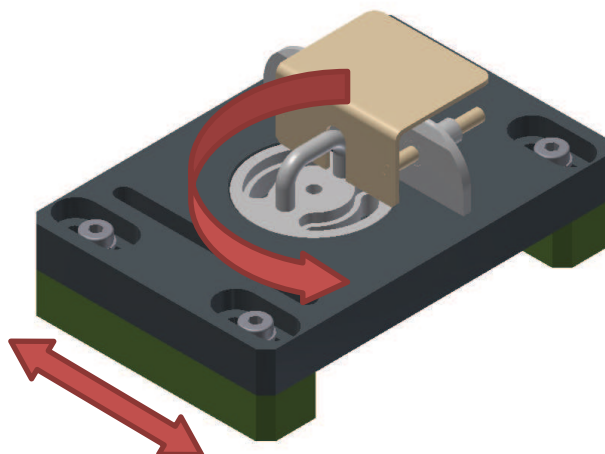
Obr. 32. Optický snímač [10]



Obr. 33. Plechové krytovanie

#### **4.2. Návrh konštrukčného riešenia prípravku support bracket O/S handle**

Tento prípravok je taktiež veľmi dôležitý pri montáži. Drží support bracket O/S handle pevne na mieste, kým sa lanko zalisuje do TBD O/S handle Base. Je flexibilne navrhnutý tak, že umožňuje natáčanie celého prípravku a jeho čiastočný posuv čo zvyšuje produktivitu výroby.



Obr. 34. Prípravok na support bracket O/S handle



**Časti přípravku:**

- Telo přípravku
- Oporné a ustavovacie prvky
- Ostatné...

**Telo přípravku:**

Telo přípravku je aj v tomto prípade základná ustavovacia časť přípravku, ktorá spája jednotlivé diely do celku. Na telo přípravku sa montujú ustavovacie prvky, ktoré zabezpečujú polohu support bracket O/S handle, ktorá sa dá prispôsobovať (prípravok sa môže otáčať a posúvať) z dôvodu, že support bracket O/S handle a TBD O/S handle Base sa vyrábajú v určitých toleranciách a preto treba niekedy polohu prispôbovať. Prípravok umožňuje posuv o 20 mm.

Dĺžka = 180 mm

Šírka = 120 mm

Výška = 20 mm

Hmotnosť = 0,448 kg

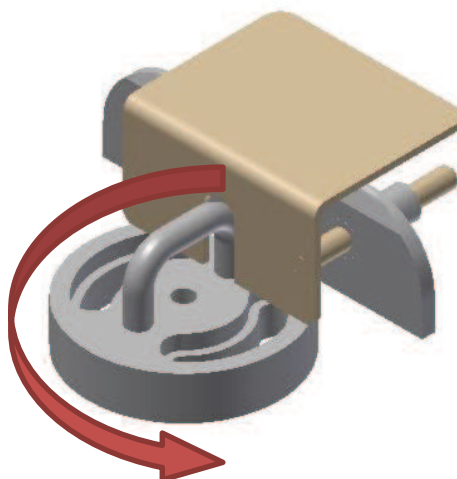
Materiál – Polymérový plast PBT GF 30 (TECADUR)



Obr. 35. Telo přípravku support bracket O/S handle

**Oporné a ustavovacie prvky:**

Oporný a ustavovací prvok je zámok, ktorý slúži na presné a rýchle ustavenie support bracket O/S handle do požadovanej polohy. Support bracket O/S handle sa po nasunutí na tento zámok zamkne takže je pri montáži nehrozí jeho pohyb a po zalisovaní bouden lanka sa odomkne. K telesu sú pripevnené skrutkami so zapustenou hlavou avšak poloha sa dá meniť. Umožňujú natáčanie až o 90° na obe strany.



Obr. 36. Oporné a ustavovacie prvky

### **Ostatné:**

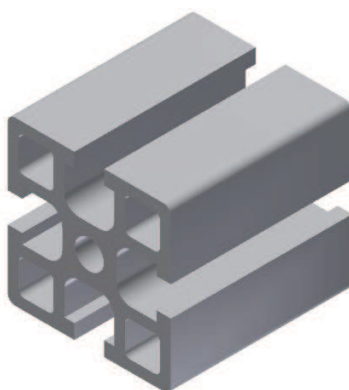
Medzi ostatné časti prípravku support bracket O/S handle patria podporné nohy, na ktorých je primontované telo prípravku, skrutky a pružné podložky.

## **4.3. Konštrukčné uzly zariadenia**

Celé zariadenie je možné rozdeliť do niekoľkých základných konštrukčných uzlov. Každý z uzlov má svoje výhody, ale aj nevýhody. V tejto kapitole sa budem zaoberať danými konštrukčnými uzlami, priblížim ich účel a urobím potrebné výpočty.

### **4.3.1. Rám stroja a krytovanie**

Rám stroja bude slúžiť ako základný nosný prvok celého zariadenia. S prihliadnutím k tejto najzakladanejšej požiadavke na rám sa musím počas konštrukcie zamerať hlavne na jeho pevnosť a tuhosť. Tuhosť rámu je dôležitá hlavne z dôvodu stability celého technologického procesu. K stavbe nosného rámu využijem stavebnicový systém z hliníkových profilov, ponúkaný v niekoľkých rozmerových radoch a prierezoch. Veľmi často je využívaný k stavbe jednoúčelových strojov, liniek, dopravníkov a iných zariadení.

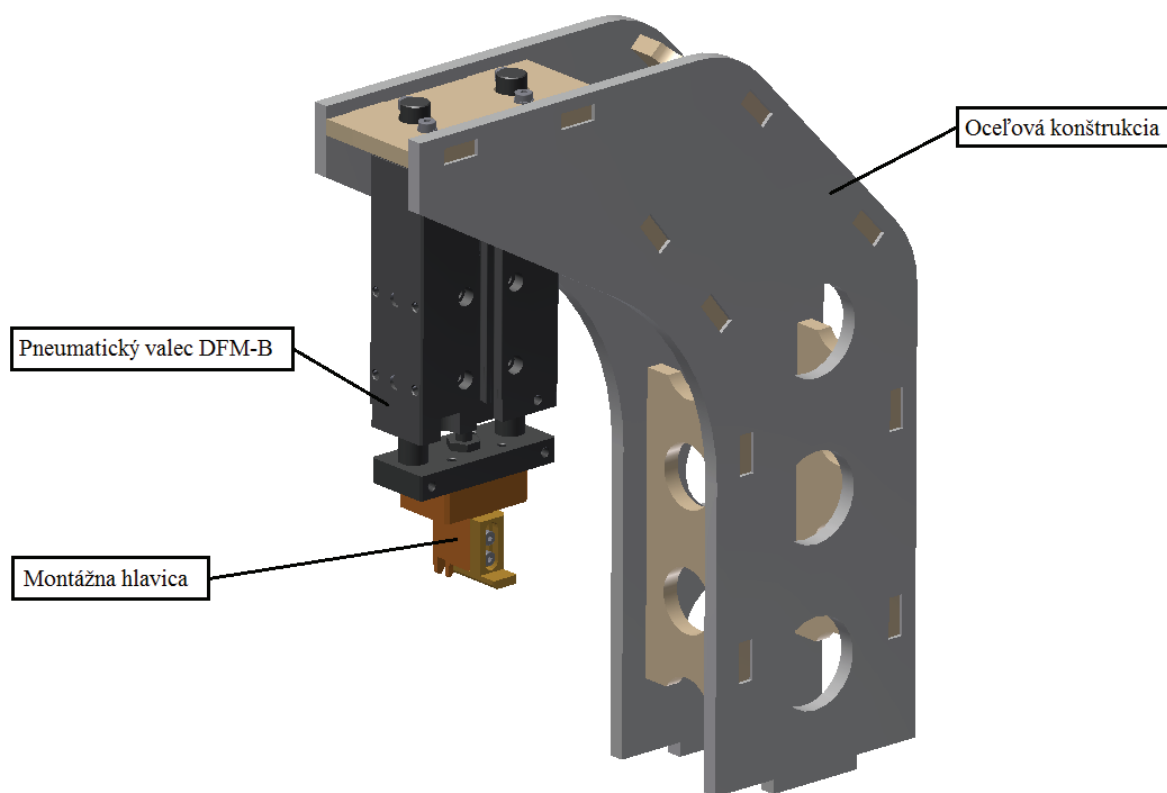


Obr. 37. Hliníkový stavebnicový profil

Krytovanie musí plniť základné bezpečnostné funkcie zariadenia. Pokiaľ by kryt neplnil tieto funkcie, nebolo by možné používať celé zariadenie k svojmu účelu vo výrobnom procese. Veľmi dôležité bude zabrániť "druhej" osobe akéhokoľvek zásahu do zariadenia či už v kludovom stave alebo v prevádzkovom stave. Pre obsluhujúci personál vzniká najväčšie nebezpečenstvo v prednej strane zariadenia, teda na strane zakladanie. Do tohto nebezpečného priestoru vstupuje obsluha často a opakovane. Možnej nebezpečnej situácii sa musí predísť hlavne v automatickom cykle stroja.

#### 4.3.2. Montážny modul

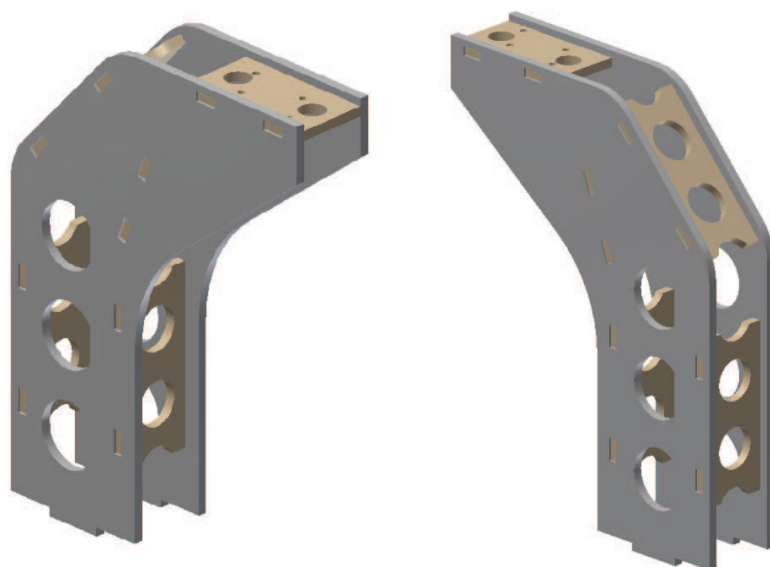
Montážny modul slúži na zalisovanie (montáž) bouden lanka do TBD O/S handle Base. Za montážny modul v mojom finálnom riešení je možné považovať oceľovú konštrukciu, ktorá je nosnou časťou pre pneumatický valec, samotný pneumatický valec DFM-B od firmy Festo a montážnu hlavicu, ktorá je upevnená na konci valca. Pri konštrukcii som počítal zo všetkými konštrukčnými, ergonomickými a bezpečnostnými požiadavkami, ktoré boli na toto zariadenie kladené.



Obr. 38. Montážny modul

#### **Oceľová konštrukcia:**

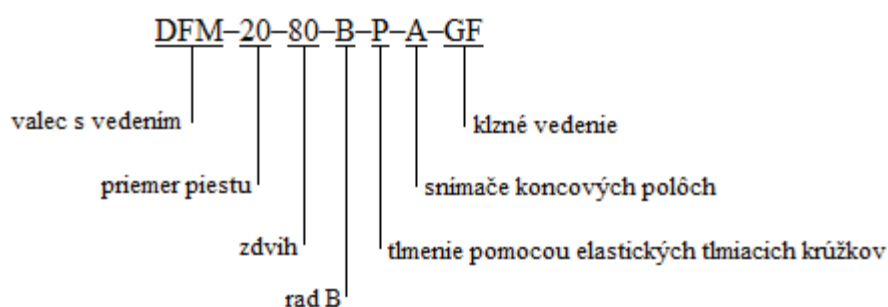
Oceľová konštrukcia je vlastne zvarenec z rôznych kusov ocele, ktorá je hlavne nosnou časťou pre pneumatický valec, ale tiež musí zaručovať dostatočnú pevnosť a tuhosť. Tuhosť konštrukcie je veľmi dôležitá najmä z dôvodu stability celého technologického procesu.



Obr. 39. Oceľová konštrukcia

### **Pneumatický valec DFM-B:**

Pre túto aplikáciu som si vybral pneumatický valec DFM-20-80-B-P-A-GF.



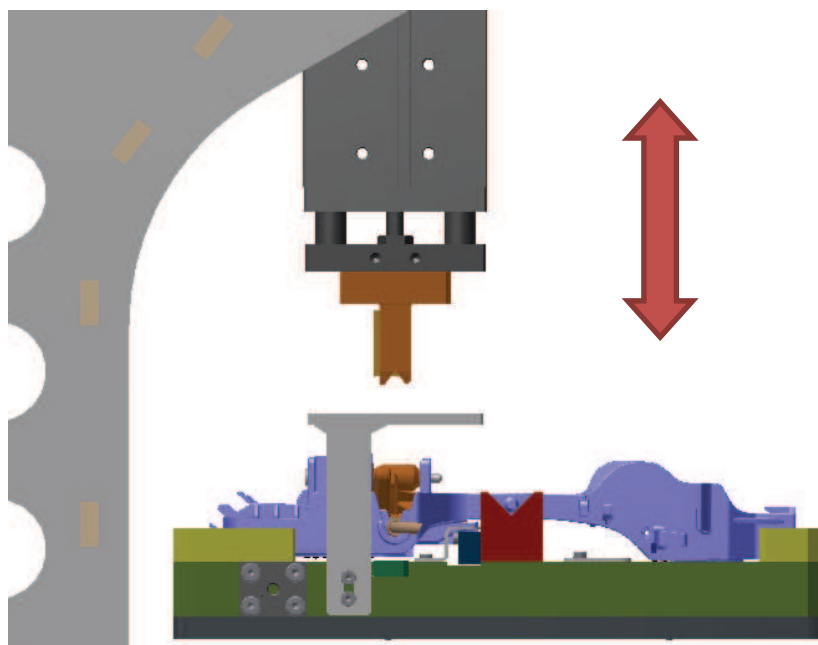
Je to dvojčinný pneumotor spoločnosti Festo, ktorý je vybavený vedením, ktoré zaistí stálu polohu montážnej hlavice. Priechodná piestna tyč umožňuje nastavenie dorazu výsuvnej polohy. Ja som však vybavil prípravok ešte bezpečnostným dorazom, aby sa zamedzilo akémukoľvek poškodeniu bouden lanka či TBD O/S handle Base. Pneumotor má tlmenie pomocou elastických tlmiacich krúžkov v oboch koncových polohách a bezdotykové snímanie polôh. Tlmenie umožňuje veľmi účinné spomalenie piestu. Tým je docielené menšie opotrebenie, dochádza tiež k významnému zníženiu hlučnosti a vibrácií.



Obr. 40. Pneumatický valec DFM-B [11]

Charakteristické znaky: [11]

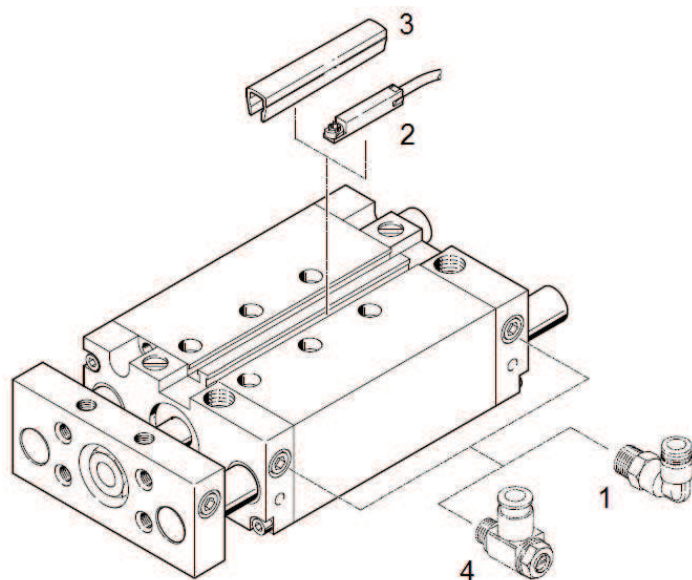
Zdvih	80 mm
Priemer piesta	20 mm
Tlmenie	P: elastické tlmiace krúžky obojstranné
Vedenie	klzné vedenie
Pracovný tlak	2 ... 10 bar
Činnosť	dvojčinný
ATEX- kategória plyn	II 2G
Pracovné médium	stlačený vzduch podľa ISO8573-1:2010
Teplota okolia	-20 ... 120 °C
Teoretická sila pri 6 bar, spätný tok	141 N
Teoretická sila pri 6 bar, tok vpred	188 N
Pneumatická prípojka	G1/8
Materiálová informácia pre kryt	hliníková tvárna zliatina
Materiálová informácia pre tesnenia	NBR
Materiálová informácia pre skriňu	hliníková tvárna zliatina
Materiálová informácia pre piestnicu	vysokolegovaná nehrdzavejúca oceľ



Obr. 41. Použitie

Výhody:

- minimálne nároky na priestor
- variabilný prívod tlakového vzduchu
- rôzne spôsoby upevnenia
- vysoká bezpečnosť proti pootočeniu
- vysoká tuhosť
- nevyžaduje údržbu
- vysoká eliminácia krútiaceho momentu a priečnej sily



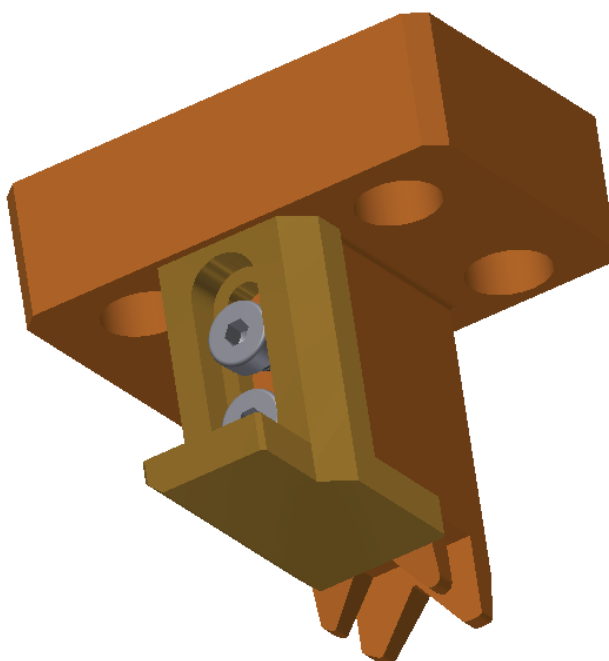
Obr. 42. Príslušenstvo pneumatického valca DFM-B [11]

Tabuľka 2. Popis príslušenstva

Príslušenstvo		Popis
1	Nástrčný prípoj	pre pripojenie hadíc stlačeného vzduchu s kalibrovaným vonkajším priemerom
2	Snímače koncových polôh	integrovateľný v profilovej rúre
3	Krytie drážky	k ochrane káblov snímača a drážok snímača pred znečistením
4	Škrtiaci spätný ventil	pre reguláciu rýchlosti

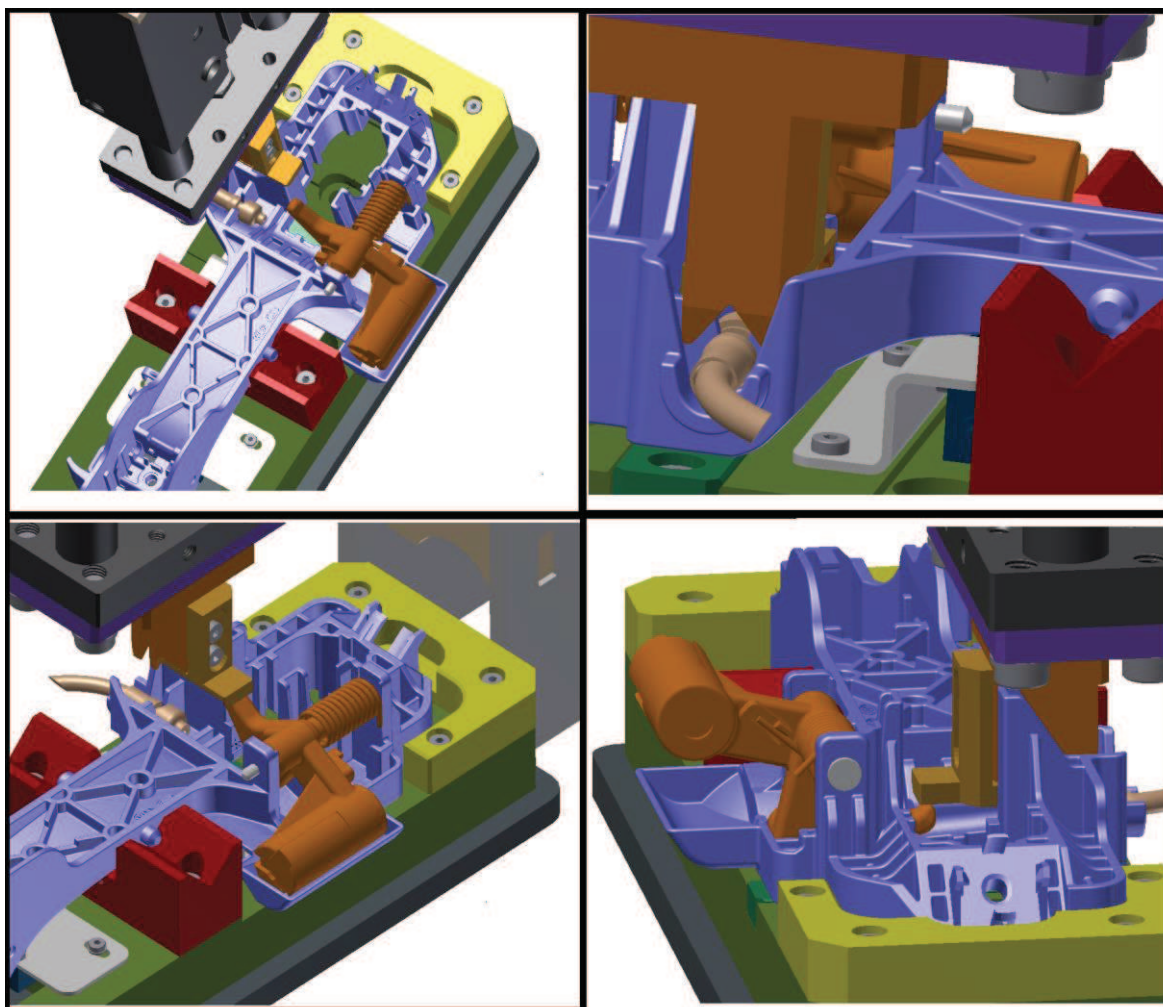
**Montážna hlavica:**

Montážna hlavica je pripevnená na konci pneumatického valca a prichádza do priameho kontaktu s bouden lankom. Je navrhnutá tak aby svojim tvarom presne zatlačila na bouden lanko, ktoré sa následne zalisuje do TBD O/S handle Base. Jej prvou úlohou je, ako som už zmieňoval, zalisovať lanko do TBD O/S handle Base. Jej druhou úlohou je zatlačiť dostatočnou veľkou silou na zámok TBD O/S handle Base, ktorý potiahne už zalisované lanko a následne odomkne zámok na support bracket O/S handle čím sa support bracket O/S handle uvoľní z prípravku (zámku).



Obr. 43. Montážna hlavica





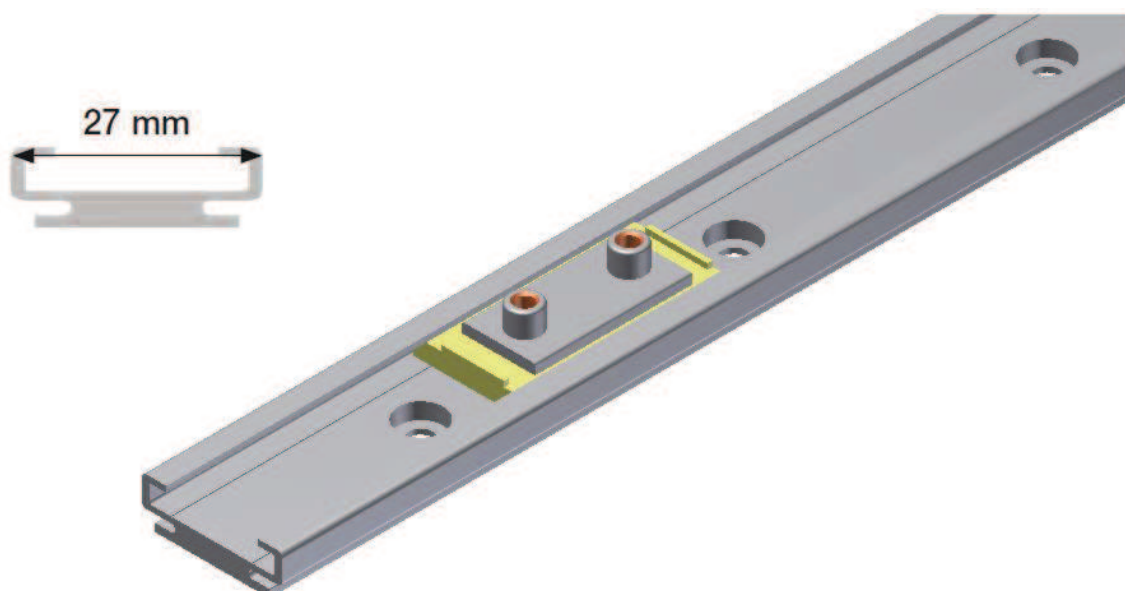
Obr. 44. Práca montážnej hlavice

#### 4.3.3. Lineárne vedenie

Nízkoprofilové vodiace systémy DryLin® N firmy Igus umožňujú veľmi presný priamočiary pohyb pri nízkych zástavových rozmeroch. Ako u všetkých produktov DryLin® aj tu sa vozík pohybuje bez lubrikácie v profiloch z eloxovaného hliníka. Vďaka použitému materiálu a jedinečnému dizajnu je vodiaci systém DryLin® N cenovo výhodný a flexibilný.

##### Výhody:

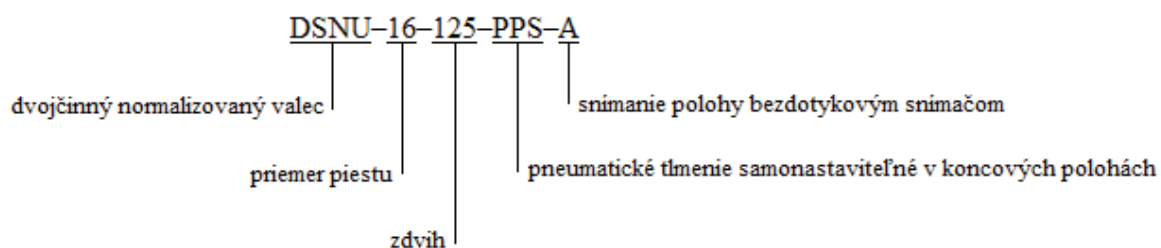
- Malá montážna výška a povrch
- Suchá a bezúdržbová prevádzka
- Odolné voči nečistotám
- Odolné proti korózii
- Nízke opotrebenie s nízkym koeficientom trenia
- Nízka hmotnosť vďaka kombinácii hliník-plast
- Vymeniteľné plastové klzáky



Obr. 45. Lineárne vedenie DryLin® N

#### 4.3.4. Pohon prípravku pre TBD O/S handle Base

Pre túto aplikáciu som si vybral pneumatický valec DSNU–16–125–PPS–A.

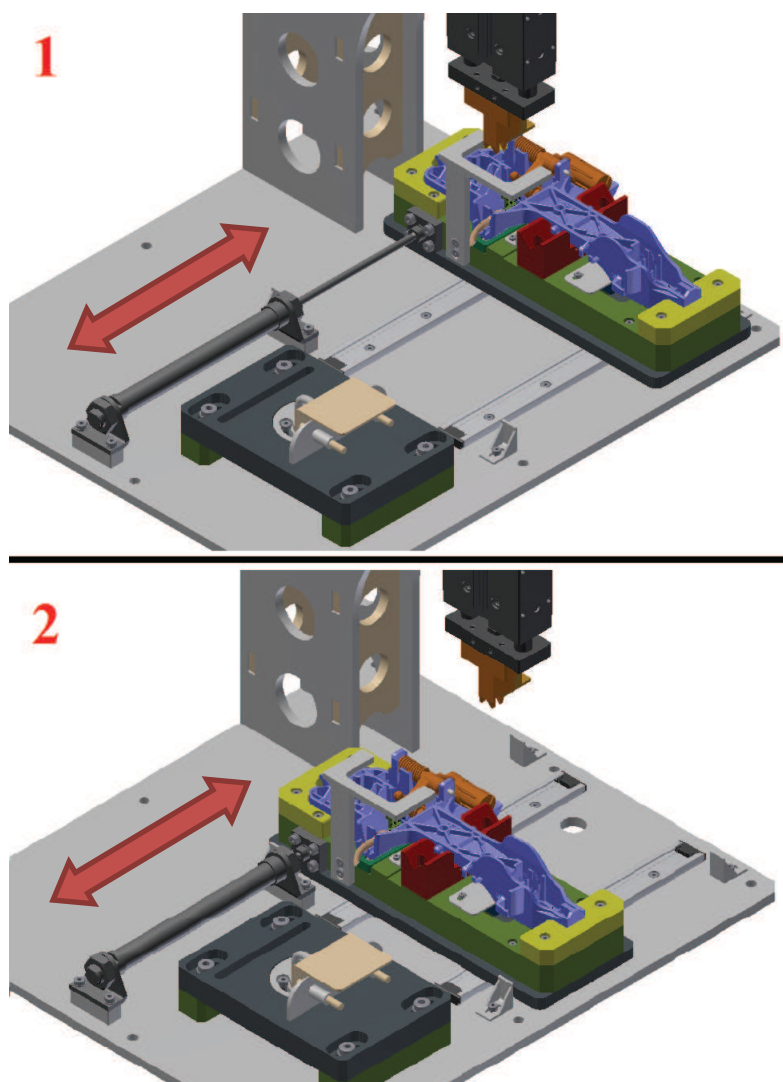


Tento pneumatický valec zabezpečuje posuv prípravku TBD O/S handle Base. Posuv je dôležitý hlavne pre obsluhu zariadenia. Prípravok TBD O/S handle Base v základnej polohe sa nachádza vedľa montážneho modulu nie pod ním, čo zaručuje pohodlné vkladanie súčiastky (TBD O/S handle Base) do prípravku. Následne pneumatický valec DSNU posunie celý prípravok po lineárnom vedení pod montážny modul kde dôjde k montáži (zalisovaniu) bouden lanka do TBD O/S handle Base. V poslednom kroku pneumatický valec DSNU vysunie prípravok z pod montážneho modulu aby obsluha mohla pohodlne vytiahnuť hotovú súčiastku.



Obr. 46. Pneumatický valec DSNU [12]





Obr. 47. Posuv přípravku TBD O/S handle Base

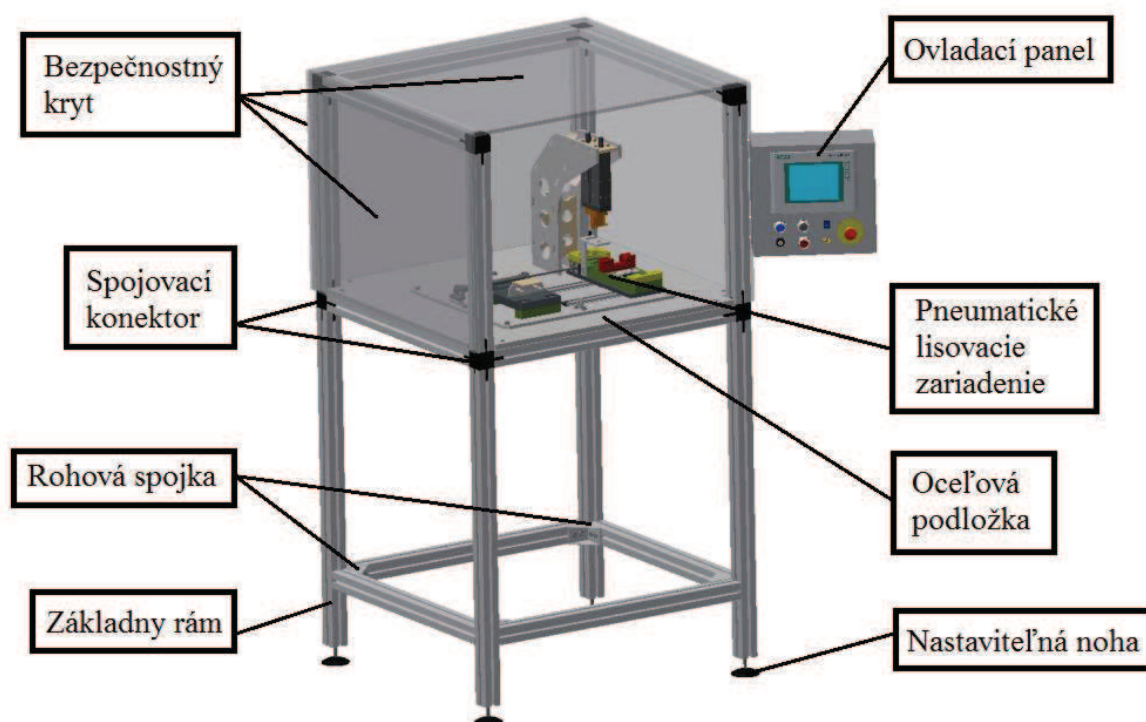
Charakteristické znaky: [12]

Zdvih	125 mm
Priemer piesta	16 mm
Tlmenie PPS:	samonastaviteľné pneumatické tlmenie v koncových polohách
Pracovný tlak	1 ... 10 bar
Činnosť	dvojčinný
Pracovné médium	Stlačený vzduch podľa ISO8573-1:2010
Teplota okolia	-20 ... 80 °C
Dĺžka tlmenia	12 mm
Teoretická sila pri 6 bar, spätný tok	103,7 N
Teoretická sila pri 6 bar, tok vpred	120,6 N
Pneumatická prípojka	M5
Materiálová informácia pre kryt	hliníková tvárna zliatina
Materiálová informácia pre piestnicu	vysokolegovaná nehrdzavejúca oceľ
Materiálová informácia pre trubku valca	vysokolegovaná nehrdzavejúca oceľ

Na obr. 48 je vidieť kompletne zariadenie. Základný rám je poskladaný z hliníkových profilov 45x45 mm narezaných na potrebné dĺžky. Navzájom sú zmontované spojovacími konektormi. Na stojných profiloch rámu sú priskrutkované nastaviteľné nohy slúžiace pre prípadné vyrovnanie nerovností podlahy. Na ráme sú celkom štyri stojné profily umiestnené v rohoch. Kvôli dosiahnutiu požadovanej tuhosti sú stojné profily ešte "zviazané" oceľovými rohovými spojkami, ktoré sú k profilom priskrutkované, aby vznikla uzavretá konštrukcia rámu.

Pneumatické lisovacie zariadenie je priskrutkované na oceľový plech, ktorý je primontovaný na profiloch. Priestor kde sa zariadenie nachádza (bočné strany, zadná strana a horná strana) je kvôli bezpečnosti okrytovaný plexisklom (polymetylmetakrylát). Predná strana je otvorená.

Na bočnej strane krytu je umiestnený ovládací panel, pomocou ktorého sa ovláda celé zariadenie. Na ovládacom paneli sa zobrazuje prevádzkový stav zariadenia. Je tu možnosť zobrazenia diagnostiky, času cyklov, prípadne manuálne ovládať alebo krokovat' zariadenie. Displej ovládacieho panelu je dotykový, ale na paneli sa nachádzajú aj mechanické tlačidlá pre zapnutie ovládacieho napätia zariadenia, aktiváciu automatického režimu, kľúčikový prepínač AUTO / RUČNE, presvetlená kontrolka chyby a tlačidlo "CENTRAL STOP".



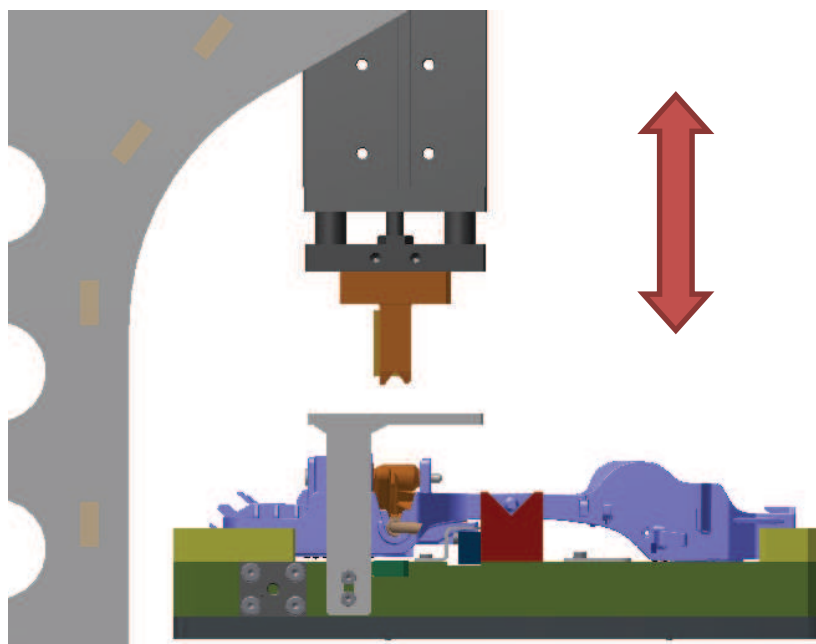
Obr. 48. Finálna verzia zariadenia s rámom, ovládacími a bezpečnostnými prvkami

## 5. Konštrukčné výpočty potrebné pre dimenzovanie zariadenia

### 5.1. Výpočet parametrov pneumatického valca DFM-B

Pneumatický valec DFM-B slúži na zalisovanie (montáž) bouden lanka do TBD O/S handle Base.

Pneumatický valec je najdôležitejšou súčasťou montážneho modulu. Z tohto dôvodu je nutné veľmi precízne premyslieť a vykonať konštrukciu celého modulu a vyvarovať sa zásadných konštrukčných chýb, ktoré môžu viesť k nefunkčnosti celého modulu. Prípadná oprava zle navrhnutého modulu býva veľmi náročná a niekedy je nutné veľkú časť modulu kompletne prekonštruovať a nájsť lepšie riešenie. Pneumatický valec je zdrojom tlakovej sily ktorá zatláča (montuje) bouden lanko do TBD O/S handle Base. Dôvod prečo som si vybral práve tento pneumatický valec DFM-B je ten, že ponúka jednoduchosť, efektivitu a kvalitu za rozumné peniaze.



Obr. 49. Aplikácia pneumatického valca DFM-B

#### 5.1.1. Výpočet zaťažujúcej sily

V prvom rade je potrebné vedieť akou veľkou silou je potrebné zalisovať bouden lanko do TBD O/S handle Base. Nakoľko mi spoločnosť DUSS GROUP, s.r.o. fyzicky poskytla súčiastky (TBD O/S handle Base, support bracket O/S handle) mohol som pre zistenie tejto sily urobiť meranie. Meranie sa odohrávalo v domácich podmienkach avšak výsledky a podmienky merania odpovedali reálnemu zaťaženiu. Použil som šnúru, na jeden koniec som zaviazal bouden lanko, ktoré som umiestnil do polohy ako pri montáži a na druhú stranu šnúry som prikladal závažie až kým bouden lanko nezaskočilo do drážky TBD O/S handle Base. Hmotnosť závažia na konci merania bola 11 kg.

Síla potřebná na zalisování bouden lanka:

$$\begin{aligned}F_z &= m \cdot g \\F_z &= 11 \cdot 9,81 \\F_z &= \underline{107,91 \text{ N}}\end{aligned}\tag{1}$$

kde:

$$m \quad \text{hmotnost' potrebná na zalisovanie lanka} \quad 11 \text{ [kg]}$$

Odpor tesnenia:

$$\begin{aligned}R_o &= a_1 \cdot F_z \\R_o &= 0,2 \cdot 107,91 \\R_o &= \underline{21,58 \text{ N}}\end{aligned}\tag{2}$$

kde:

$$a_1 \quad \text{súčiniteľ trenia tesnenia piestu (0,1 – 0,3)} \quad 0,2 \text{ [-]}$$

Celková zaťažujúca síla:

$$\begin{aligned}F_C &= F_z + R_o \\F_C &= 107,91 + 21,58 \\F_C &= \underline{\underline{129,49 \text{ N}}}\end{aligned}\tag{3}$$

### 5.1.2. Návrh priemeru piestu

Počiatkové podmienky:

- pracovný tlak a pretlak sa rovnajú  $p_1 = p_2 = 0,6 \text{ MPa}$
- tlak pre výfuk rozvádzača volím:  $p_2 = 0,05 \text{ Mpa}$

Plocha piestu:

$$\begin{aligned}S &= \frac{F_C}{p_1} \\S &= \frac{129,49}{0,6 \cdot 10^6} \\S &= \underline{\underline{2,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}}\end{aligned}\tag{4}$$

kde:

$$p_1 \quad \text{pracovný tlak} \quad 0,6 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$$

Priemer piestu:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad (5)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,16 \cdot 10^{-4}}{\pi}}$$

$$D = 0,01658 \text{ m} \rightarrow \underline{16,58 \text{ mm}}$$

Z katalógu firmy Festo volím pneumatický valec: **DFM-20-80-B-P-A-GF**

- Dvojčinný, s elastickými tlmiacimi krúžkami na tlmenie koncových polôh a bezdotykovým snímaním krajných polôh
  - priemer piestu  $\varnothing D = 20 \text{ mm}$
  - priemer piestnice  $\varnothing d = 8 \text{ mm}$

Skutočná sila:

$$F_{SK} = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - p_2 \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad (6)$$

$$F_{SK} = 0,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} - 0,05 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot (0,02^2 - 0,008^2)}{4}$$

$$F_{SK} = \underline{175,3 \text{ N}}$$

kde:

$p_2$	tlak pre výfuk rozvádzača	$0,05 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$
$D$	priemer piestu	$0,02 \text{ [m]}$
$d$	priemer piestnice	$0,008 \text{ [m]}$

Kontrola:  $F_{SK} \geq F_C$  (7)

$$\underline{\underline{175,3 \text{ N} \geq 129,49 \text{ N} \rightarrow \text{VYHOVUJE}}}$$

### 5.1.3. Kontrola piestnice na vzper

Moment zotrvačnosti:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} \quad (8)$$

$$J = \frac{\pi \cdot 0,008^4}{64} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,014^4}{64}$$

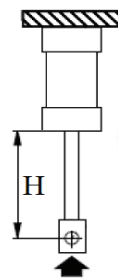
$$J = \underline{8,273 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4}$$

kde:

$d_2$	priemer vodiacich piestnic	$0,014 \text{ [m]}$
-------	----------------------------	---------------------

Redukovaná délka:

$$\begin{aligned} l_{red} &= 2 \cdot H \\ l_{red} &= 2 \cdot 0,08 \\ l_{red} &= \underline{0,16 \text{ m}} \end{aligned} \quad (9)$$



kde:

$H$  zdvih valca 0,08 [m]

Kritická síla:

$$\begin{aligned} F_{KR} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l_{red}^2} \\ F_{KR} &= \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 8,273 \cdot 10^{-7}}{0,16^2} \\ F_{KR} &= \underline{6,698 \cdot 10^7 \text{ N}} \end{aligned} \quad (10)$$

kde:

$E$  modul pružnosti oceli v tahu 2,1.10<sup>11</sup> [Pa]

Přípustná kritická síla:

$$\begin{aligned} F_{KR \text{ dov}} &= \frac{F_{KR}}{k} \\ F_{KR \text{ dov}} &= \frac{6,698 \cdot 10^7}{6} \\ F_{KR \text{ dov}} &= \underline{1,116 \cdot 10^7 \text{ N}} \end{aligned} \quad (11)$$

kde:

$k$  súčiniteľ bezpečnosti (3,5 – 10) 6 [-]

Kontrola:

$$\begin{aligned} F_{KR \text{ dov}} &\geq F_c \\ \underline{\underline{1,116 \cdot 10^7 \text{ N} \geq 131,04 \text{ N}}} &\rightarrow \text{VYHOVUJE} \end{aligned} \quad (12)$$

Kontrola na hraničný prípad vzperu v konečnej polohe:

$$\begin{aligned} F_{SK \text{ max}} &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_p \\ F_{SK \text{ max}} &= \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot 0,6 \cdot 10^6 \\ F_{SK \text{ max}} &= \underline{188,5 \text{ N}} \end{aligned} \quad (13)$$

kde:

$p_p$  pracovný pretlak 0,6.10<sup>6</sup> [Pa]

$$\begin{aligned} \text{Kontrola:} \quad F_{KR\,dov} &\geq F_{SK\,max} \\ \underline{\underline{1,116 \cdot 10^7\,N \geq 188,5\,N}} &\rightarrow \text{VYHOVUJE} \end{aligned} \quad (14)$$

#### 5.1.4. Spotřeba vzduchu na jeden pracovní cyklus

Objem vzduchu při vysávání piestnice:

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \\ V_1 &= \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot 0,08 \\ V_1 &= \underline{\underline{2,153 \cdot 10^{-5}\,m^3}} \end{aligned} \quad (15)$$

Objem vzduchu při zasouvání piestu:

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot H \\ V_2 &= \frac{\pi}{4} (0,02^2 - 0,008^2) \cdot 0,08 \\ V_2 &= \underline{\underline{2,111 \cdot 10^{-5}\,m^3}} \end{aligned} \quad (16)$$

Celkový objem vzduchu na jeden pracovní cyklus:

$$\begin{aligned} V_C &= V_1 + V_2 \\ V_C &= 2,153 \cdot 10^{-5} + 2,111 \cdot 10^{-5} \\ V_C &= \underline{\underline{4,265 \cdot 10^{-5}\,m^3}} \end{aligned} \quad (17)$$

Celkový objem vzduchu na jeden pracovní cyklus prepočítaný na normálny stav:

$$\begin{aligned} V_{CN} &= V_C \cdot \frac{p_{1\,abs}}{p_N} \\ V_{CN} &= 4,265 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} \\ V_{CN} &= \underline{\underline{2,985 \cdot 10^{-4}\,m^3}} \end{aligned} \quad (18)$$

kde:

$$\begin{array}{ll} p_{1\,abs} & \text{absolútny tlak} & 0,7 \cdot 10^6 \text{ [Pa]} \\ p_N & \text{atmosférický tlak} & 0,1 \cdot 10^6 \text{ [Pa]} \end{array}$$

Stredná spotřeba vzduchu během jednoho pracovního cyklu:

$$Q_{STR} = \frac{V_{CN}}{t_C} \quad (19)$$

$$Q_{STR} = \frac{2,985 \cdot 10^{-4}}{7,5}$$

$$Q_{STR} = 3,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow \underline{2,39 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}}$$

kde:

$$t_c \quad \text{čas jedného pracovného cyklu [11]} \quad 7,5 \text{ [s]}$$

### 5.1.5. Dynamika pohonu

Rýchlosť pohybu valca:

$$v = \frac{2 \cdot H}{t_c} \quad (20)$$

$$v = \frac{2 \cdot 0,08}{0,42}$$

$$v = \underline{0,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

kde:

$$t_c \quad \text{čas vysunutia, zasunutia valca [11]} \quad 0,42 \text{ [s]}$$

Ustálená rýchlosť pohybu valca:

$$v_u = \frac{H}{0,5 \cdot t_r + t_u + 0,5 \cdot t_b} \quad (21)$$

$$v_u = \frac{0,08}{0,5 \cdot 0,05 + 0,11 + 0,5 \cdot 0,05}$$

$$v_u = \underline{0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

kde:

$$t_r \quad \text{doba rozbehu [11]} \quad 0,05 \text{ [s]}$$

$$t_b \quad \text{doba brzdenia [11]} \quad 0,05 \text{ [s]}$$

potom platí že:  $t_u = \frac{t_c}{2} - t_r - t_b$  (22)

$$t_u = \frac{0,42}{2} - 0,05 - 0,05$$

$$t_u = \underline{0,11 \text{ s}}$$

Zrýchlenie a spomalenie pri rozbehu a brzdení:

$$a = \frac{v_u}{t_r} \quad (23)$$

$$a = \frac{0,5}{0,05}$$

$$a = \underline{10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$$



Tlakový spád potřebný pro rozbeh:

$$\begin{aligned}\Delta p_a &= \frac{m \cdot a}{S} \\ \Delta p_a &= \frac{11 \cdot 10}{\frac{\pi \cdot 0,02^2}{4}} \\ \Delta p_a &= \underline{0,35 \cdot 10^6 \text{ Pa}}\end{aligned}\tag{24}$$

Vlastná frekvencia pneumatického valca:

$$\begin{aligned}f_0 &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} \\ f_0 &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3,574 \cdot 10^3}{11}} \\ f_0 &= \underline{2,87 \text{ Hz}}\end{aligned}\tag{25}$$

kde:

$$\begin{aligned}c &= \frac{K \cdot S^2}{V} = \frac{K \cdot S^2}{S \cdot H} = \frac{K \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{H} \\ c &= \frac{9,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4}}{0,08} \\ c &= \underline{3,547 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{m}}\end{aligned}\tag{26}$$

Modul objemovej pružnosti  $K$  je daný vzťahom  $K = n \cdot p_{1abs}$ , pri predpoklade *polytropickej kompresie* ( $n = 1,3$ ) a pri *absolútnom tlaku*  $0,7 \text{ MPa}_{abs}$ .

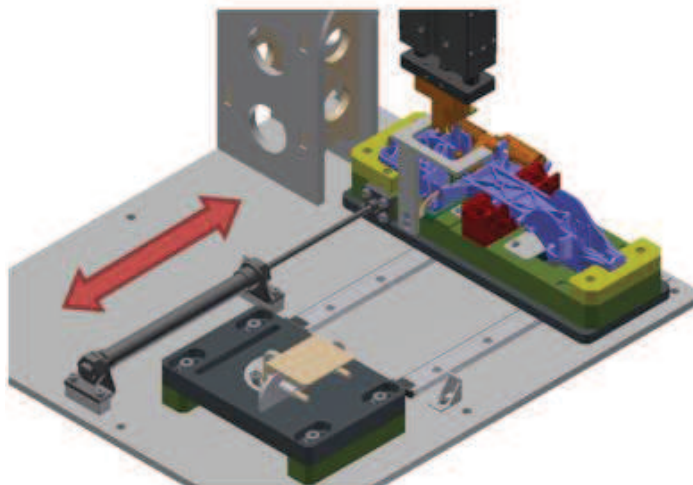
$$\begin{aligned}K &= n \cdot p_{1abs} \\ K &= 1,3 \cdot 0,7 \cdot 10^6 \\ K &= \underline{9,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}}\end{aligned}\tag{27}$$

Vlastná uhlová rýchlosť:

$$\begin{aligned}\omega &= 2 \cdot \pi \cdot f_0 \\ \omega &= 2 \cdot \pi \cdot 2,87 \\ \omega &= \underline{18,03 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}\end{aligned}\tag{28}$$

## 5.2. Výpočet parametrů pneumatického válce DSNU

Pneumatický valec DSNU slouží na posuv přípravku TBD O/S handle Base.



Obr. 50. Aplikácia pneumatického valca DSNU

### 5.2.1. Výpočet zatěžující síly

Síla od tíže břemena:

$$\begin{aligned} F_B &= m \cdot g \\ F_B &= 5 \cdot 9,81 \\ F_B &= \underline{49,05 \text{ N}} \end{aligned} \tag{29}$$

kde:

$$m \quad \text{hmotnost břemena} \quad 5 \text{ [kg]}$$

Třecí síla:

$$\begin{aligned} F_T &= f_0 \cdot F_B \\ F_T &= 0,3 \cdot 49,05 \\ F_T &= \underline{14,72 \text{ N}} \end{aligned} \tag{30}$$

kde:

$$f_0 \quad \text{súčiniteľ šmykového trenia lineárneho vedenia} \quad 0,3 \text{ [-]}$$

Odpor tesnenia:

$$\begin{aligned} R_o &= a_1 \cdot F_T \\ R_o &= 0,2 \cdot 14,72 \\ R_o &= \underline{2,94 \text{ N}} \end{aligned} \tag{31}$$

kde:

$$a_1 \quad \text{súčiniteľ trenia tesnenia piestu (0,1 – 0,3)} \quad 0,2 \text{ [-]}$$

Celková zatěžující síla:

$$\begin{aligned}F_C &= F_T + R_o + R_L \\F_C &= 14,72 + 2,94 + 55 \\F_C &= \underline{\underline{72,66 \text{ N}}}\end{aligned}\tag{32}$$

kde:

$$R_L \quad \text{odpor bouden lanka, ktorý pôsobí na valec} \\ \text{pri vracaní sa do základnej polohy} \quad 55 \text{ [N]}$$

### 5.2.2. Návrh piestru

Počiatkové podmienky:

- pracovný tlak a pretlak sa rovnajú  $p_1 = p_2 = 0,6 \text{ MPa}$
- tlak pre výfuk rozvádzača volím:  $p_2 = 0,05 \text{ Mpa}$

Plocha piestru:

$$\begin{aligned}S &= \frac{F_C}{p_1} \\S &= \frac{72,66}{0,6 \cdot 10^6} \\S &= \underline{\underline{1,21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}}\end{aligned}\tag{33}$$

kde:

$$p_1 \quad \text{pracovný tlak} \quad 0,6 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$$

Priemer piestru:

$$\begin{aligned}D &= \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \\D &= \sqrt{\frac{4 \cdot 1,21 \cdot 10^{-4}}{\pi}} \\D &= 0,01244 \text{ m} \rightarrow \underline{\underline{12,44 \text{ mm}}}\end{aligned}\tag{34}$$

Z katalógu firmy Festo volím pneumatický valec: **DSNU-16-125-PPS-A**

- Dvojčinný, s nastaviteľným tlmením koncových polôh a bezdotykovým snímaním krajných polôh
  - priemer piestru  $\varnothing D = 16 \text{ mm}$
  - priemer piestnice  $\varnothing d = 6 \text{ mm}$

Skutočná síla:

$$F_{SK} = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - p_2 \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad (35)$$

$$F_{SK} = 0,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} - 0,05 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot (0,016^2 - 0,006^2)}{4}$$

$$F_{SK} = \underline{112 \text{ N}}$$

kde:

$p_2$	tlak pre výfuk rozvádzača	$0,05 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$
$D$	priemer piestu	$0,016 \text{ [m]}$
$d$	priemer piestnice	$0,006 \text{ [m]}$

Kontrola:  $F_{SK} \geq F_C$  (36)

$$\underline{112 \text{ N} \geq 72,66 \text{ N} \rightarrow \text{VYHOVUJE}}$$

### 5.2.3. Kontrola piestnice na vzper

Moment zotrvačnosti:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (37)$$

$$J = \frac{\pi \cdot 0,006^4}{64}$$

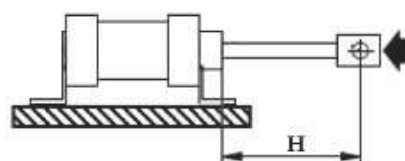
$$J = \underline{6,362 \cdot 10^{-11} \text{ m}^4}$$

Redukovaná dĺžka:

$$l_{red} = 2 \cdot H$$

$$l_{red} = 2 \cdot 0,125$$

$$l_{red} = \underline{0,25 \text{ m}}$$



(38)

kde:

$H$	zdvih valca	$0,125 \text{ [m]}$
-----	-------------	---------------------

Kritická síla:

$$F_{KR} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l_{red}^2} \quad (39)$$

$$F_{KR} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 6,362 \cdot 10^{-11}}{0,25^2}$$

$$F_{KR} = \underline{2,109 \cdot 10^3 \text{ N}}$$

kde:

$$E \quad \text{modul pružnosti oceli v tahu} \quad 2,1 \cdot 10^{11} \text{ [Pa]}$$

Prípustná kritická sila:

$$\begin{aligned} F_{KR\ dov} &= \frac{F_{KR}}{k} \\ F_{KR\ dov} &= \frac{2,109 \cdot 10^3}{6} \\ F_{KR\ dov} &= \underline{\underline{351,61 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (40)$$

kde:

$$k \quad \text{súčiniteľ bezpečnosti (3,5 – 10)} \quad 6 \text{ [-]}$$

Kontrola:  $F_{KR\ dov} \geq F_C$  (41)  
 $\underline{\underline{351,61 \text{ N} \geq 72,66 \text{ N} \rightarrow \text{VYHOVUJE}}}$

Kontrola na hraničný prípad vzperu v konečnej polohe:

$$\begin{aligned} F_{SK\ max} &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_p \\ F_{SK\ max} &= \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 0,6 \cdot 10^6 \\ F_{SK\ max} &= \underline{\underline{120,64 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (42)$$

kde:

$$p_p \quad \text{pracovný pretlak} \quad 0,6 \cdot 10^6 \text{ [Pa]}$$

Kontrola:  $F_{KR\ dov} \geq F_{SK\ max}$  (43)  
 $\underline{\underline{351,61 \text{ N} \geq 120,64 \text{ N} \rightarrow \text{VYHOVUJE}}}$

#### 5.2.4. Spotreba vzduchu na jeden pracovný cyklus

Objem vzduchu pri vysúvaní piestnice:

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \\ V_1 &= \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 0,125 \\ V_1 &= \underline{\underline{2,513 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}} \end{aligned} \quad (44)$$

Objem vzduchu při zasouvání piestu:

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot H \\ V_2 &= \frac{\pi}{4} (0,016^2 - 0,006^2) \cdot 0,125 \\ V_2 &= \underline{2,159 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3} \end{aligned} \quad (45)$$

Celkový objem vzduchu na jeden pracovní cyklus:

$$\begin{aligned} V_C &= V_1 + V_2 \\ V_C &= 2,513 \cdot 10^{-5} + 2,159 \cdot 10^{-5} \\ V_C &= \underline{4,673 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3} \end{aligned} \quad (46)$$

Celkový objem vzduchu na jeden pracovní cyklus prepočítaný na normálny stav:

$$\begin{aligned} V_{CN} &= V_C \cdot \frac{p_{1 \text{ abs}}}{p_N} \\ V_{CN} &= 4,673 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} \\ V_{CN} &= \underline{3,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3} \end{aligned} \quad (47)$$

kde:

$$\begin{array}{ll} p_{1 \text{ abs}} & \text{absolútny tlak} & 0,7 \cdot 10^6 \text{ [Pa]} \\ p_N & \text{atmosférický tlak} & 0,1 \cdot 10^6 \text{ [Pa]} \end{array}$$

Stredná spotreba vzduchu behom jedného pracovného cyklu:

$$\begin{aligned} Q_{STR} &= \frac{V_{CN}}{t_C} \\ Q_{STR} &= \frac{3,27 \cdot 10^{-4}}{7,5} \\ Q_{STR} &= 4,36 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow \underline{2,62 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}} \end{aligned} \quad (48)$$

kde:

$$t_C \quad \text{čas jedného pracovného cyklu [12]} \quad 7,5 \text{ [s]}$$

### 5.2.5. Dynamika pohonu

Rýchlosť pohybu valca:

$$v = \frac{2 \cdot H}{t_C} \quad (49)$$

$$v = \frac{2 \cdot 0,125}{2,5}$$

$$v = \underline{0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

kde:

$$t_c \quad \text{čas vysunutia, zasunutia valca} \quad [12] \quad 2,5 \text{ [s]}$$

Ustálená rýchlosť pohybu valca:

$$v_u = \frac{H}{0,5 \cdot t_r + t_u + 0,5 \cdot t_b} \quad (50)$$

$$v_u = \frac{0,125}{0,5 \cdot 0,05 + 1,15 + 0,5 \cdot 0,05}$$

$$v_u = \underline{0,104 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

kde:

$$t_r \quad \text{doba rozbehu} \quad [12] \quad 0,05 \text{ [s]}$$

$$t_b \quad \text{doba brzdenia} \quad [12] \quad 0,05 \text{ [s]}$$

$$\text{potom platí že: } t_u = \frac{t_c}{2} - t_r - t_b \quad (51)$$

$$t_u = \frac{2,5}{2} - 0,05 - 0,05$$

$$t_u = \underline{1,15 \text{ s}}$$

Zrýchlenie a spomalenie pri rozbehu a brzdení:

$$a = \frac{v_u}{t_r} \quad (52)$$

$$a = \frac{0,104}{0,05}$$

$$a = \underline{2,08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

Tlakový spád potrebný pre rozbeh:

$$\Delta p_a = \frac{m \cdot a}{S} \quad (53)$$

$$\Delta p_a = \frac{5 \cdot 2,08}{\pi \cdot 0,016^2}$$

$$\Delta p_a = \underline{0,05 \cdot 10^6 \text{ Pa}}$$

Vlastná frekvencia pneumatického valca:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} \quad (54)$$

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1,464 \cdot 10^3}{5}}$$

$$f_0 = \underline{2,72 \text{ Hz}}$$

kde:

$$c = \frac{K \cdot S^2}{V} = \frac{K \cdot S^2}{S \cdot H} = \frac{K \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{H} \quad (55)$$

$$c = \frac{9,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4}}{0,125}$$

$$c = \underline{1,464 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{m}}$$

Modul objemovej pružnosti  $K$  je daný vzťahom  $K = n \cdot p_{1abs}$ , pri predpoklade polytropickej kompresie ( $n = 1,3$ ) a pri absolútnom tlaku  $0,7 \text{ MPa}_{abs}$ .

$$K = n \cdot p_{1abs} \quad (56)$$

$$K = 1,3 \cdot 0,7 \cdot 10^6$$

$$K = \underline{9,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}}$$

Vlastná uhlová rýchlosť:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \quad (57)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 2,72$$

$$\omega = \underline{17,11 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}$$

### 5.3. Výpočet prietokovej priepustnosti pneumatického obvodu

Týmto výpočtom sa zisťuje prietoková priepustnosť pneumatického obvodu, ktorý má medzi zdrojom tlaku (prípojnú miesto stlačeného vzduchu) a pracovným prvkom - pneumotorom, rad riadiacich a iných prvkov.

Keďže v obvode sú prvky radené iba sériovo pre výpočet riešený metódou ekvivalentného (náhradného) prietoku bude platiť:

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^i \frac{1}{Q_{Ni}^2}}} \quad (58)$$



### 5.3.1. Výpočet prietokovej priepustnosti vetvy s pneumotorom DFM-B

Prietok vzduchu motorom:

$$Q_1 = S_1 \cdot v_u \quad (59)$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_u \quad (60)$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot 0,5$$

$$Q_1 = \underline{1,571 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}$$

kde:

$v_u$	ustálená rýchlosť pohybu valca	0,16 [m.s <sup>-1</sup> ]
$D$	priemer piestu	0,02 [m]

Prietok vzduchu motorom prepočítaný na normálne podmienky:

$$Q_{1N} = Q_1 \cdot \frac{p_{1 \text{ abs}}}{p_N} \quad (61)$$

$$Q_{1N} = 1,571 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6}$$

$$Q_{1N} = 10,996 \cdot 10^{-4} \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow \underline{65,97 \text{ l}_N \cdot \text{min}^{-1}}$$

kde:

$p_{1 \text{ abs}}$	absolútny tlak	0,7.10 <sup>6</sup> [Pa]
$p_N$	atmosférický tlak	0,1.10 <sup>6</sup> [Pa]

Návrh priemeru hadice k pneumotoru:

$$Q_1 = S_v \cdot v_p \quad (62)$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} \cdot v_p \quad (63)$$

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot v_p}} \quad (64)$$

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,571 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 15}}$$

$$d_v = \underline{0,00365 \text{ m}}$$

kde:

$v_p$	rýchlosť prúdenia	15 [m.s <sup>-1</sup> ]
-------	-------------------	-------------------------

Z katalógu firmy Festo volím plastovú hadicu: PUN-4X0,75-BL

- Vysoko ohybná hadica z plastu
  - Vonkajší priemer  $\varnothing D_H = 4 \text{ mm}$
  - Vnútorý priemer  $\varnothing d_H = 2,6 \text{ mm}$
  - Polomer ohybu  $R = 8 \text{ mm}$
  - Farba modrá

Tabuľka 3. Prvky v obvode s pneumotorom DFM-B

Prvok	Označenie	$Q_{Ni}$ [ $l_N \cdot \text{min}^{-1}$ ]	Počet
<b>Uzatvárací ventil</b>	HE-G3/8-LO	5200	1 kus
<b>Elektromagnetický 5/3 ventil</b>	CPE14-M1BH-5/3GS-1/8	7500	1 kus
<b>Jednotka na úpravu vzduchu</b>	FRC-1/4-D-5M-MIDI	1300	1 kus
<b>Škrtiaci spätný ventil</b>	GRLA-M5-QS-4-D	115	1 kus
<b>Riadený spätný ventil so zámkom</b>	HGL-M5-QS-4	130	1 kus
<b>Nástrčná spojka</b>	QS-G1/4-6	1000	2 kusy
<b>Nástrčná spojka</b>	QSM-G1/8-4	367	2 kusy
<b>Nástrčná spojka</b>	QS-G1/4-6	1000	1 kus
<b>Nástrčná spojka</b>	QSM-G1/8-6	680	1 kus
<b>Redukcia</b>	D-1/4I-3/8A-AL	2100	1 kus
<b>Hadica</b>	PUN-6x1-BL	1000	1 m
<b>Hadica</b>	PUN-4x0,75-BL	90	2 m

Výpočet ekvivalentného prietoku vetvy s pneumotorom DFM-B:

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^i \frac{1}{Q_{Ni}^2}}} \quad (65)$$

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{5200^2} + \frac{1}{7500^2} + \frac{1}{1300^2} + \frac{1}{115^2} + \frac{1}{130^2} + \frac{4}{1000^2} + \frac{2}{367^2} + \frac{1}{680^2}}}$$

$$+ \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{2100^2} + \frac{1}{90^2}}}$$

$$Q_{Ne} = \underline{79,75 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}}$$

Kontrola:  $Q_{Ne} \geq Q_{1N}$  (66)

$$\underline{\underline{79,75 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \geq 65,97 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \rightarrow \text{VYHOVUJE}}}$$

### 5.3.2. Výpočet prietokovej priepustnosti vetvy s pneumotorom DSNU

Prietok vzduchu motorom:

$$Q_1 = S_1 \cdot v_u \quad (67)$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_u \quad (68)$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 0,104$$

$$Q_1 = \underline{2,091 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}$$

kde:

$v_u$	ustálená rýchlosť pohybu valca	0,104 [m.s <sup>-1</sup> ]
$D$	priemer piestu	0,016 [m]

Prietok vzduchu motorom prepočítaný na normálne podmienky:

$$Q_{1N} = Q_1 \cdot \frac{p_{1 \text{ abs}}}{p_N} \quad (69)$$

$$Q_{1N} = 2,091 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6}$$

$$Q_{1N} = 1,464 \cdot 10^{-4} \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow \underline{8,78 \text{ l}_N \cdot \text{min}^{-1}}$$

kde:

$p_{1 \text{ abs}}$	absolútny tlak	0,7.10 <sup>6</sup> [Pa]
$p_N$	atmosférický tlak	0,1.10 <sup>6</sup> [Pa]

Návrh priemeru hadice k pneumotoru:

$$Q_1 = S_v \cdot v_p \quad (70)$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} \cdot v_p \quad (71)$$

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot v_p}} \quad (72)$$

$$d_v = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,091 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 15}}$$

$$d_v = \underline{0,00133 \text{ m}}$$

kde:

$v_p$	rýchlosť prúdenia	15 [m.s <sup>-1</sup> ]
-------	-------------------	-------------------------

Z katalogu firmy Festo volím plastovou hadicu: PUN-4X0,75-BL

- Vysoko ohybná hadica z plastu
  - Vonkajší priemer  $\varnothing D_H = 4 \text{ mm}$
  - Vnútorňý priemer  $\varnothing d_H = 2,6 \text{ mm}$
  - Polomer ohybu  $R = 8 \text{ mm}$
  - Farba modrá

Tabuľka 4. Prvky v obvode s pneumotorom DSNU

Prvok	Označenie	$Q_{Ni}$ [ $l_N \cdot \text{min}^{-1}$ ]	Počet
<b>Uzatvárací ventil</b>	HE-G3/8-LO	5200	1 kus
<b>Elektromagnetický 5/3 ventil</b>	CPE14-M1BH-5/3GS-1/8	7500	1 kus
<b>Jednotka na úpravu vzduchu</b>	FRC-1/4-D-5M-MIDI	1300	1 kus
<b>Škrtiaci spätný ventil</b>	GRLA-M5-QS-4-D	115	1 kus
<b>Riadený spätný ventil so zámkom</b>	HGL-M5-QS-4	130	1 kus
<b>Nástrčná spojka</b>	QS-G1/4-6	1000	2 kusy
<b>Nástrčná spojka</b>	QSM-G1/8-4	367	2 kusy
<b>Nástrčná spojka</b>	QS-G1/4-6	1000	1 kus
<b>Nástrčná spojka</b>	QSM-G1/8-6	680	1 kus
<b>Redukcia</b>	D-1/4I-3/8A-AL	2100	1 kus
<b>Hadica</b>	PUN-6x1-BL	1000	1 m
<b>Hadica</b>	PUN-4x0,75-BL	90	2 m

Výpočet ekvivalentného prietoku vetvy s pneumotorom DSNU:

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^i \frac{1}{Q_{Ni}^2}}} \quad (73)$$

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{5200^2} + \frac{1}{7500^2} + \frac{1}{1300^2} + \frac{1}{115^2} + \frac{1}{130^2} + \frac{4}{1000^2} + \frac{2}{367^2} + \frac{1}{680^2}}}$$

$$+ \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{2100^2} + \frac{1}{90^2}}}$$

$$Q_{Ne} = \underline{59,75 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}}$$

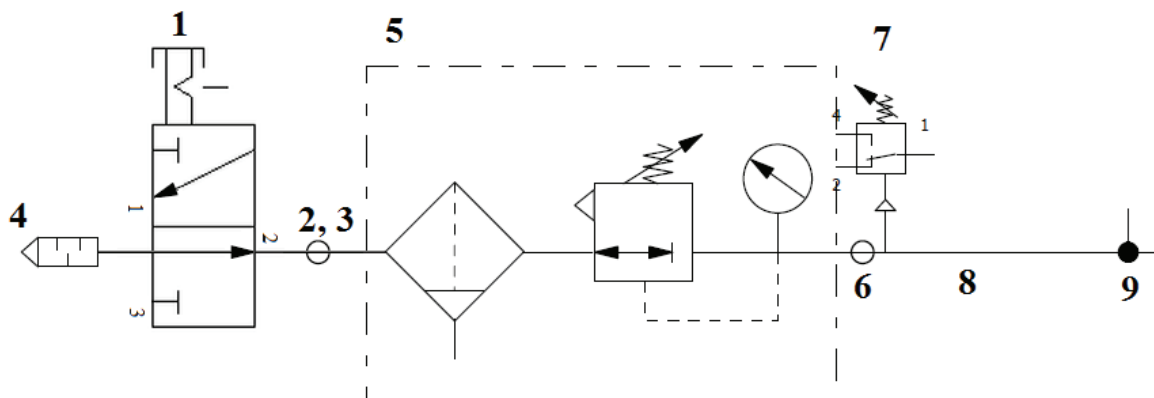
Kontrola:  $Q_{Ne} \geq Q_{1N}$  (74)

$$\underline{\underline{79,75 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \geq 21,11 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \rightarrow \text{VYHOVUJE}}}$$

## 6. Prvky pneumatického obvodu

### 6.1. Spoločné prvky v obvode

Nachádza sa tu súpis všetkých prvkov, ktoré slúžia na úpravu stlačeného vzduchu, ktoré sú spoločné pre oba valce (DFM-B aj DSNU).



Obr. 51. Schéma zapojenia spoločných prvkov v obvode

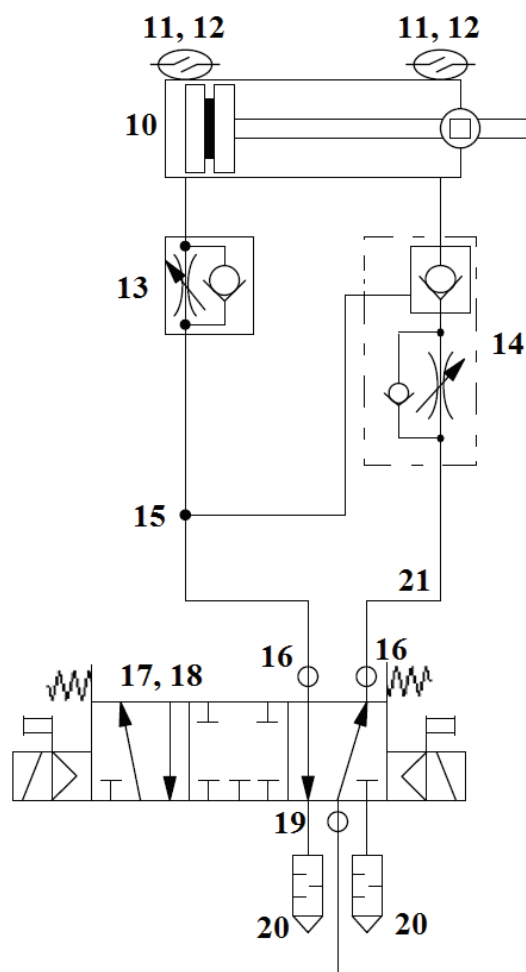
Tabuľka 5. zoznam spoločných prvkov v obvode

Pozícia	Prvok	Označenie	Výrobca
1	Uzatvárací ventil	HE-G3/8-LO	Festo
2	Redukcia	D-1/4I-3/8A-AL	Festo
3	Nástrčná spojka	QS-G1/4-6	Festo
4	Tlmič hluku	U-3/8	Festo
5	Jednotka na úpravu vzduchu	FRC-1/4-D-5M-MIDI	Festo
6	Nástrčná spojka	QS-G1/4-6	Festo
7	Tlakový snímač	SDE5-D6-FP-Q6-P-K	Festo
8	Hadica	PUN-6x1-BL	Festo
9	Nástrčná spojka T-kus	QSM-G1/8-6	Festo

Celý zoznam spoločných prvkov pneumatického obvodu sa nachádza v prílohe I.

## 6.2. Prvky obvodu pneumatora DFM-B

Súpis prvkov od pripojovacieho bloku po pneumotor DFM-B.



Obr. 52. Schéma zapojenia prvkov v obvode pneumatora DFM-B

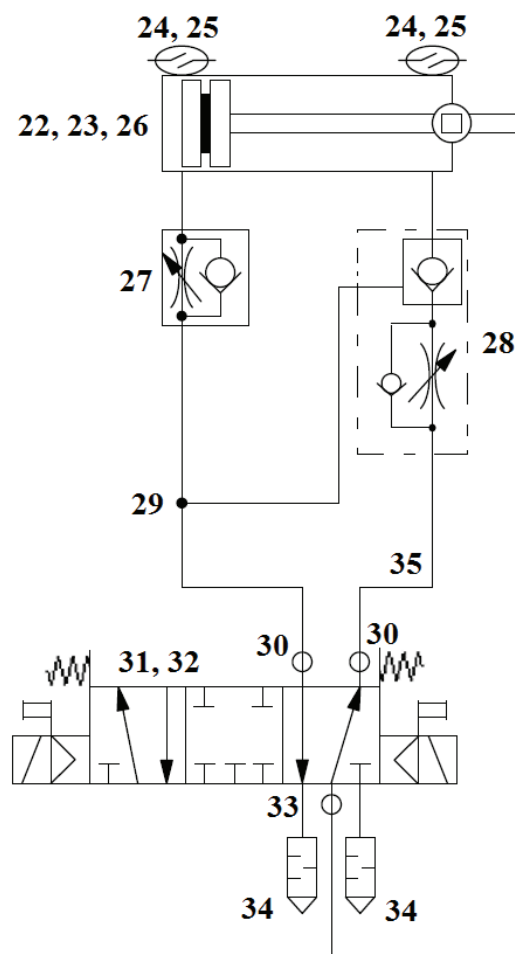
Tabuľka 6. zoznam prvkov v obvode pneumatora DFM-B

Pozícia	Prvok	Označenie	Výrobca
10	Pneumotor	DFM-20-80-B-P-A-GF	Festo
11	Snímač polohy	SMT-8M-A-1-OE	Festo
12	Krycia lišta do drážky	ABP-5	Festo
13	Škrtiaci spätný ventil	GRLA-M5-QS-4-D	Festo
14	Riadený spätný ventil so zámkom	HGL-M5-QS-4	Festo
15	Nástrčná spojka T-kus	QSMT 4	Festo
16	Nástrčná spojka	QSM-G1/8-4	Festo
17	Elektromagnetický 5/3 ventil	CPE14-M1BH-5/3GS-1/8	Festo
18	Elektromagnetická cievka	MSFG-24/42-50/60	Festo
19	Nástrčná spojka	QSM-G1/8-6	Festo
20	Tlmič hluku	U-1/8	Festo
21	Hadica	PUN-4x0,75-BL	Festo

Celý zoznam prvkov pneumatického obvodu pneumatora DFM-B sa nachádza v prílohe I.

### 6.3. Prvky obvodu pneumotora DSNU

Súpis prvkov od pripojovacieho bloku po pneumotor DSNU.



Obr. 53. Schéma zapojenia prvkov v obvode pneumotora DSNU

Tabuľka 7. zoznam prvkov v obvode pneumotora DSNU

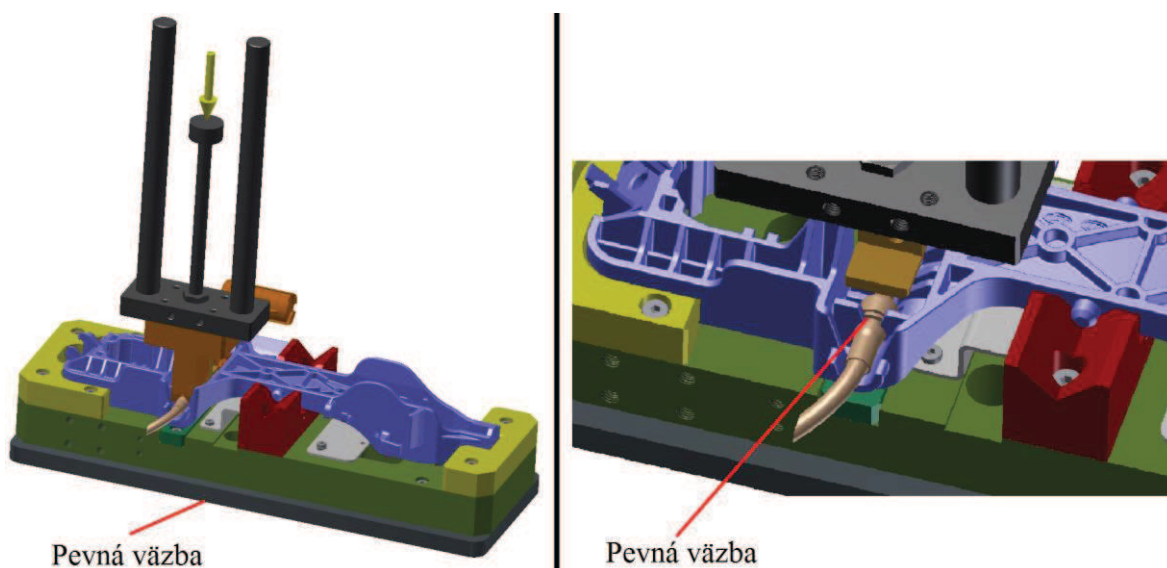
Pozícia	Prvok	Označenie	Výrobca
22	Pneumotor	DSNU-16-125-PPV-A	Festo
23	Pätkové upevnenie	HBN-12/16x2	Festo
24	Snímač polohy	SMT-8M-A-1-OE	Festo
25	Držiak pre snímač konc. polohy	SMBR-8-16	Festo
26	Spojovacia príruha	KSZ-M6	Festo
27	Škrtiaci spätný ventil	GRLA-M5-QS-4-D	Festo
28	Riadený spätný ventil so zámkom	HGL-M5-QS-4	Festo
29	Nástrčná spojka T-kus	QSMT 4	Festo
30	Nástrčná spojka	QSM-G1/8-4	Festo
31	Elektromagnetický 5/3 ventil	CPE14-M1BH-5/3GS-1/8	Festo
32	Elektromagnetická cievka	MSFG-24/42-50/60	Festo
33	Nástrčná spojka	QSM-G1/8-6	Festo
34	Tlmič hluku	U-1/8	Festo
35	Hadica	PUN-4x0,75-BL	Festo

Celý zoznam prvkov pneumatického obvodu pneumotora DSNU sa nachádza v prílohe I.

## 7. MKP analýza

MKP analýzu som robil v programe Autodesk Inventor Professional 2014. Cieľom úlohy je pevnostná kontrola zariadenia pomocou MKP analýzy. Kontrole nebude podliehať celé zariadenie, nie je nutné, iba funkčné časti samotnej montáže (lisovania), tj. bouden lanko, TBD O/S handle Base a montážna hlavica. Montážna hlavica je vyrobená z ocele, čiže bude lepšie zvládať tlak a napätie, ako bouden lanko a TBD O/S handle Base, ktoré sú vyrobené z plastu. Takže pri kontrole sa bude zameriavať viac na tieto súčiastky. V prvom prípade MKP analýzou určím hodnotu maximálneho napätia, posuv a súčiniteľ bezpečnosti pri potrebnej sile zalisovania. V druhom prípade určím taktiež tieto parametre, ale pri použití maximálnej sily akú dokáže pneumotor vyprodukovať a zhodnotím výsledky.

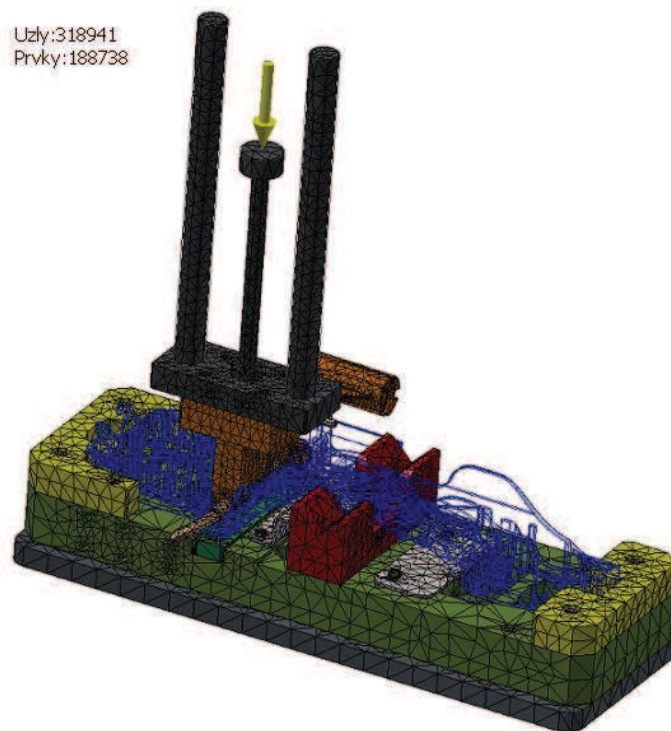
Pevná väzba (votknutie) bola aplikovaná na spodnú dosku prípravku a na väzbu medzi lankom a TBD O/S handle Base. Sila pôsobila na piest pneumatického valca ako pri reálnych podmienkach. V prvom prípade to je sila 129,49 N a v druhom prípade 188 N. Boli použité dotyky, ktoré simulovali trečiu väzbu (posouvání/bez oddělení). Kvôli urýchleniu výpočtu som do MKP analýzy nezahŕňal súčiastky, ktorých sa výpočet priamo netýkal. Vzhľadom k tomu, aby bol lepšie viditeľný napäťovým rozdielom, bola vykonaná úprava farieb a horné napätie nastavené na 20 MPa.



Obr. 54. Vázby a zaťaženie zariadenia

Na obr. 55 je vidieť pohľad na sieť. Súčiastka TBD O/S handle Base bola vytvorená v inom programe a mne bola poskytnutá len STEP súbore. Program Autodesk Inventor Professional nechcel akceptovať niektoré geometrie súčiastky, kvôli tomu že boli tenké alebo zložité. Ja som však nemohol upravovať túto súčiastku, aby som odstránil chybu. Keďže samotná súčiastka TBD O/S handle Base ja namáhaná minimálne táto "komplikácia" vôbec nemá vplyv na výpočet.

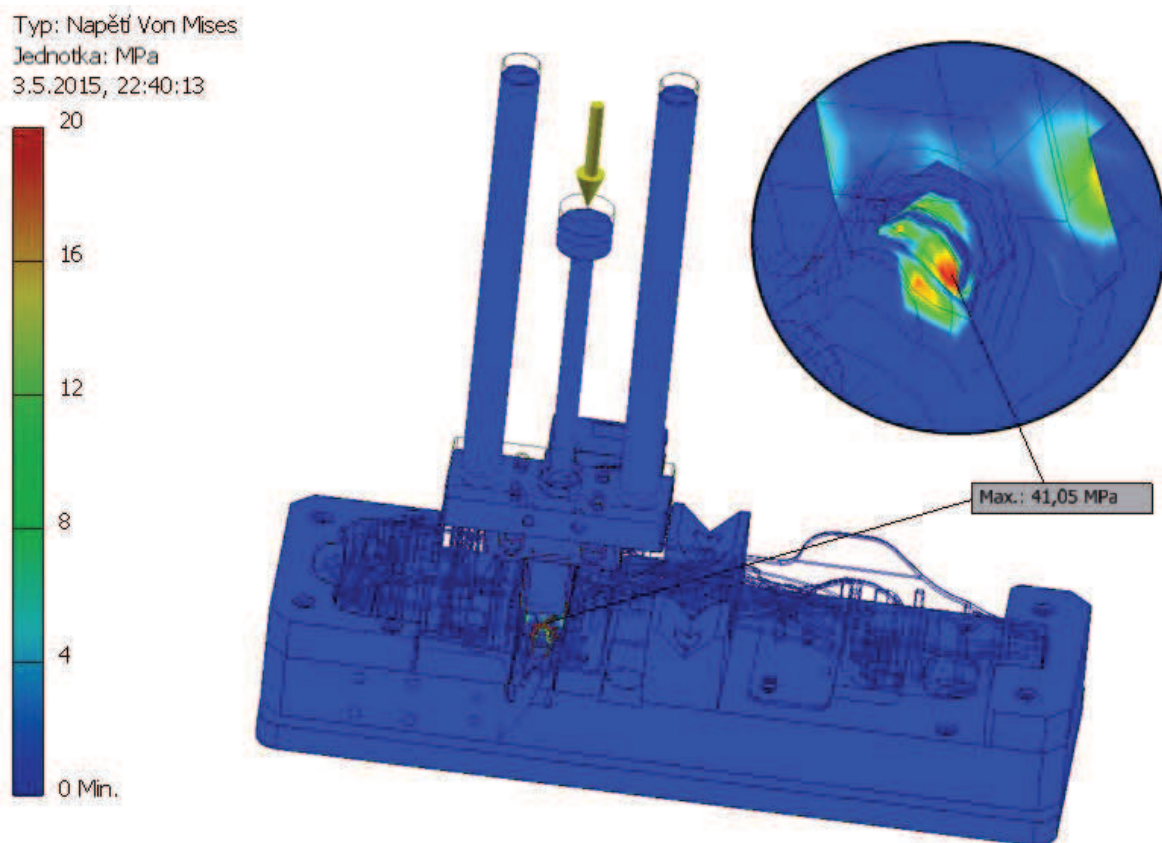




Obr. 55. Pohľad siete

**1. prípad – sila potrebná na zalisovanie lanka (129,49 N):**

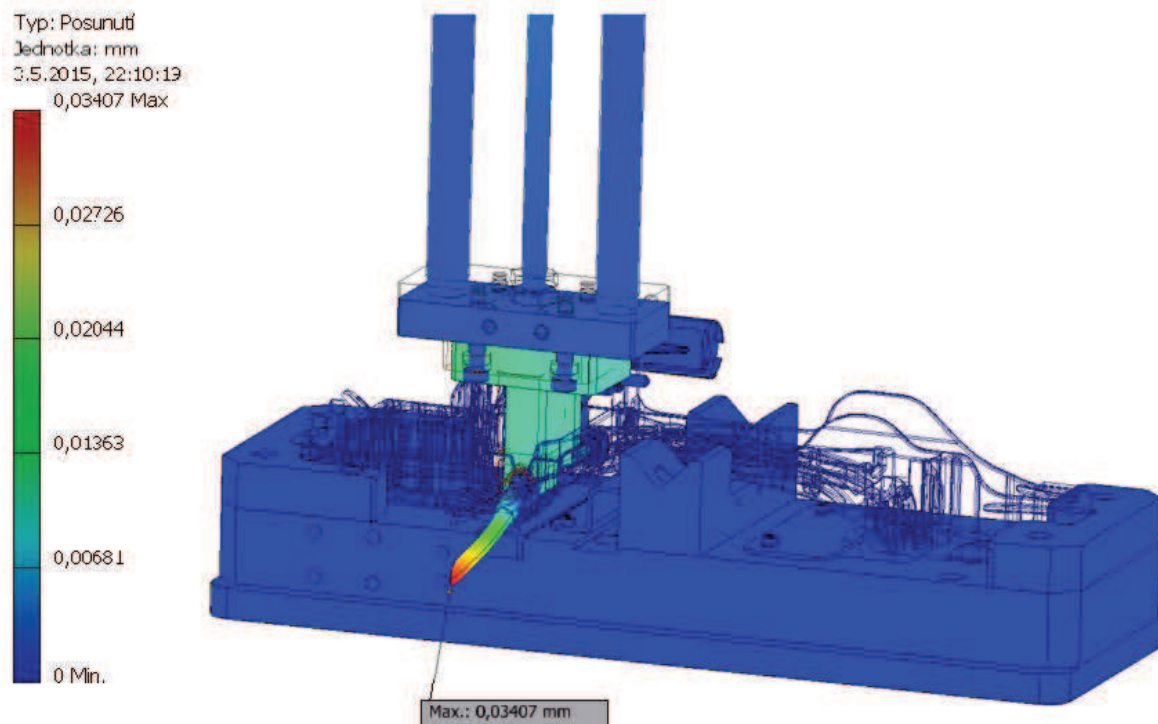
*Redukované napätie:*



Obr. 56. Redukované napätie – 1. prípad

Na Obr. 56 je možné vidieť miesto kde je najväčšie napätie. Toto napätie je na bouden lanku, kde sa "láme" cez plochu uloženia na TBD O/S handle Base. Hodnota napätia je 41,05 MPa, čo je prijateľná hodnota a bouden lanko tomuto napätiu odolá.

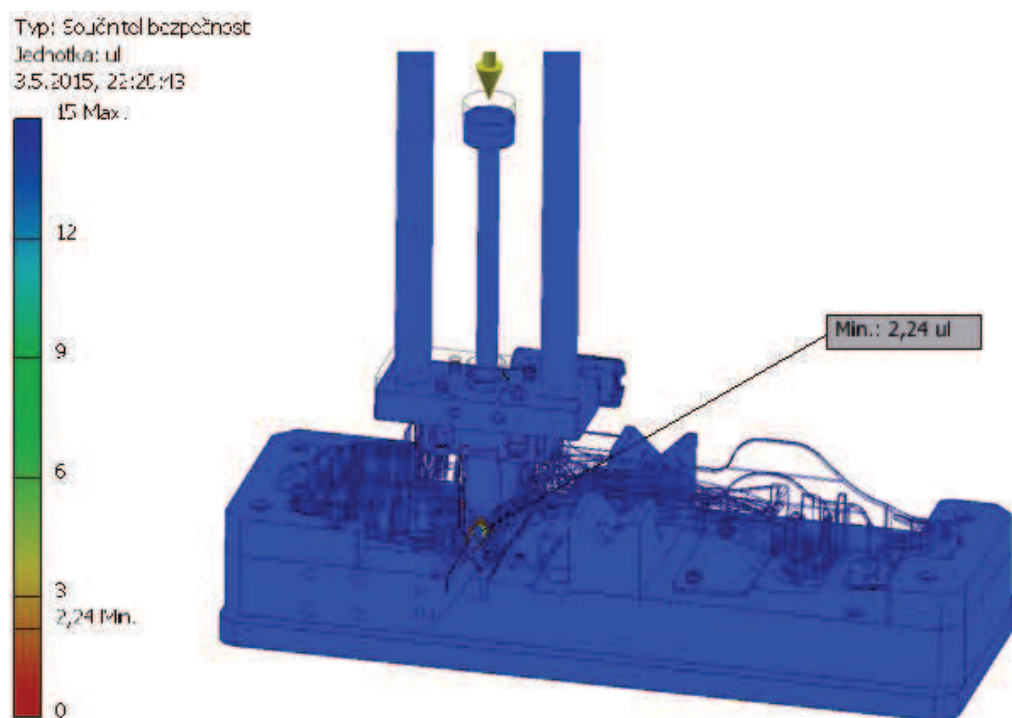
#### Deformácie:



Obr. 57. Posunutie – 1. prípad

Na Obr. 57 je možné vidieť miesto kde je najväčšie posunutie. Toto posunutie je na konci bouden lanka jeho hodnota je 0,034 mm, čo je zanedbateľná hodnota.

#### Súčiniteľ bezpečnosti:

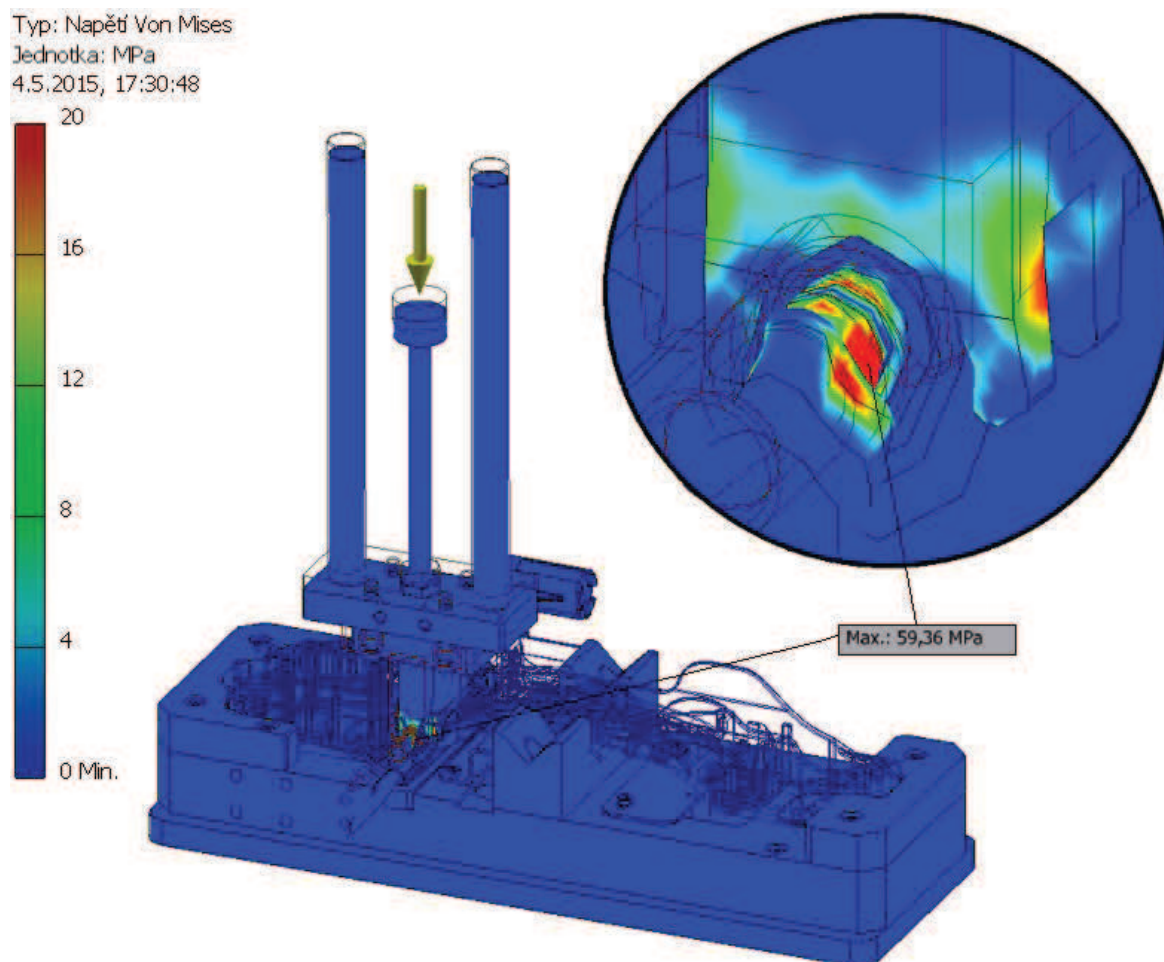


Obr. 58.  
Súčiniteľ  
bezpečnosti  
– 1. prípad

Na Obr. 58 je možné vidieť miesto kde je najmenší súčiniteľ bezpečnosti. Tento súčiniteľ bezpečnosti je na bouden lanku a jeho hodnota je 2,24 [-], čo je vyhovujúci výsledok.

## 2. prípad – maximálna sila akú dokáže pneumotor vyprodukovať (188 N):

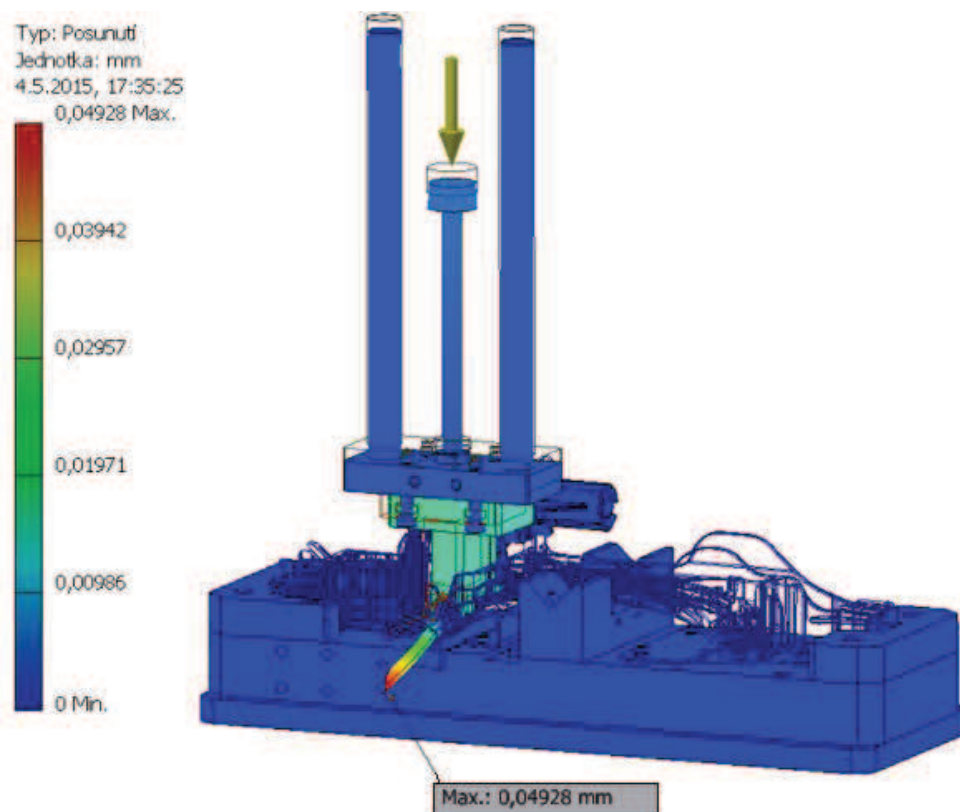
*Redukované napätie:*



Obr. 59. Redukované napätie – 2. prípad

Na Obr. 59 je možné vidieť miesto kde je najväčšie napätie. Toto napätie je, tak ako v prvom prípade, na bouden lanku, kde sa "láme" cez plochu uloženia na TBD O/S handle Base. Hodnota napätia je 59,36 MPa, čo je prijateľná hodnota a bouden lanko tomuto napätiu odolá.

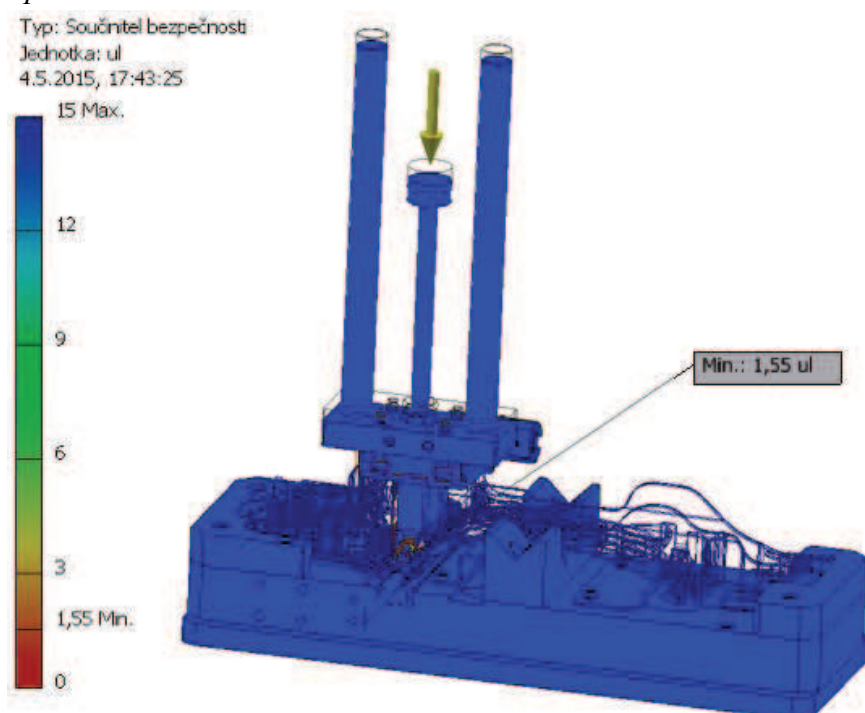
Deformácie:



Obr. 60. Posunutie – 2. prípad

Na Obr. 60 je možné vidieť miesto kde je najväčšie posunutie. Toto posunutie je taktiež na konci bouden lanka jeho hodnota je 0,049 mm, čo je zanedbateľná hodnota.

Súčiniteľ bezpečnosti:



Obr. 61. Súčiniteľ bezpečnosti – 2. prípad

Na Obr. 61 je možné vidieť miesto kde je najmenší súčiniteľ bezpečnosti. Tento súčiniteľ bezpečnosti je na bouden lanku a jeho hodnota je 1,55 [-], čo je vyhovujúci výsledok.

*Zhrnutie výsledkov:*

V oboch prípadoch bolo najviac zaťažované bouden lanko, je čo z princípu montáže logické. Napätie v prvom prípade, kedy bola použitá potrebná sila na zalisovanie lanka tj. 129,49 N bolo namerané napätie 41,05 MPa čo je veľmi prijateľná hodnota a takéto napätie lanko v žiadnom prípade nepoškodzuje a posunutie bolo 0,034 mm čo je priam zanedbateľná hodnota. Napätie v druhom prípade, kedy bola použitá maximálna sila akú dokáže pneumatický valec vyvinúť tj. 188 N bolo namerané napätie 59,36 MPa čo je taktiež prijateľná hodnota a posunutie bolo 0,049 mm čo je tiež zanedbateľná hodnota. Výsledky pevnostnej analýzy sa pohybovali v bezpečných hodnotách a vzhľadom k princípu MKV možno predpokladať, že toto napätie bude ešte nižšie.

V MKP analýze schválne nepočítam s bezpečnostným dorazom. Jeho hlavnou úlohou nie je zamedziť nejakej sile, ktorá by mohla lanko poškodiť. Ako som analýzou dokázal ani pri maximálnej sile akú dokáže pneumatický valec vyvinúť, to nie je potrebné. Keďže je výškovo nastaviteľný jeho hlavnou úlohou je pokryť tolerančné pole v akom môže byť TBD O/S handle Base vyrobený. Je to preto lebo montáž je vykonávaná s určitým presahom cca 2 desatiny mm, ale v niektorých prípadoch by mohlo nastať, že tento presah bude väčší za čo môže práve rozsah tolerancií v akých je TBD O/S handle Base vyrobený. Takže sa dá povedať, že hlavnou úlohou bezpečnostného dorazu je zamedziť poškodeniu spôsobenému nadmerným presahom.



## 8. Záver

Cieľom diplomovej práce bol konštrukčný návrh montážneho lisovacieho zariadenia pre zalisovanie (montáž) bouden lanka do TBD O/S handle Base, čo je strojná súčiastka, ktorá je časťou celku, ktorý slúži na otváranie dverí automobilu.

V úvode práce som urobil rešerš na danú tému a zhromaždil som informácie o danej problematike. Rešerš sa týka manuálnych a pneumatických montážnych zariadení, lebo už na začiatku som vedel, že moje varianty riešenia sa budú uberať týmto smerom. Tieto informácie som využil pri konečnom spracovaní konštrukčného návrhu.

Montážne lisovacie zariadenie je navrhnuté podľa súčasnej technickej úrovne a podľa pravidiel bezpečnosti práce. Návrhu finálnej verzie predchádzalo zhodnotenie výhod a nevýhod dvoch navrhovaných variant a vybratie správnej varianty, ktorou je montáž pomocou pneumatického valca. Pri voľbe najvhodnejšej varianty som zohľadnil technickú a funkčnú stránku veci a v neposlednom rade ľahkú ovládateľnosť a ergonómiu zariadenia. V navrhnutom zariadení sa nachádzajú prvky pneumatického obvodu firmy Festo a lineárne vedenie firmy Igus. Ostatné súčiastky, ktoré tvoria montážne prípravky, montážny modul a pod. som navrhol podľa doposiaľ dosiahnutých skúseností a poznatkov, ktoré som získal hlavne počas štúdia.

V priebehu návrhu bolo nutné vykonať konštrukčné a pevnostné výpočty, či už z dôvodu pevnostnej kontroly niektorých súčastí alebo nadimenzovania správnych komponentov. Taktiež som vykonal MKP analýzu zariadenia, ktorá len podčiarkla to že zariadenie je správne navrhnuté a že nehrozí poškodenie vybraných súčastí.

Diplomovú prácu som doplnil výkresovou dokumentáciou celého zariadenia, ktorá je súčasťou prílohy práce. Na záver možno povedať, že boli splnené ciele diplomovej práce.

### Podakovanie

Tu by som rád poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Oldřichovi Učeňovi, Ph.D. z katedry výrobních strojů a konstruování VŠB - TU Ostrava za konzultácie, podnety a rady v priebehu riešenia práce. Ďalej moje poďakovanie patrí zadávateľovi práce pánovi Romanovi Ďubekovi za to, že mi umožnil riešiť dané zariadenie a za cenné rady a konzultácie. A taktiež svojej rodine za potrebnú psychickú podporu počas celej doby štúdia.

## 9. Zoznam použitej literatúry

- [1] *Www.sjf.tuke.sk* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Operácia lisovania v montážnych procesoch. Dostupné z WWW: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/13-2009/pdf/078-086.pdf>>.
- [2] *Www.mts.sk* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Moderné technologické systémy. Dostupné z WWW: <<http://mts.sk/sk/produkty/lisy-a-lisovacie-stance>>.
- [3] *Www.rucne-naradie.sk* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Ručné náradie. Dostupné z WWW: <<http://www.rucne-naradie.sk/proma-ap-5>>.
- [4] *Www.strojeslovakia.sk* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Stroje SLOVAKIA. Dostupné z WWW: <<http://www.strojeslovakia.sk/kovoobrabacie-stroje/product/5220-Rucny-hrebenovy-lis-typu-LRH3/>>.
- [5] *Www.pramark.sk* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Pramark. Dostupné z WWW: <<http://www.pramark.sk/montazne-lisy/pakove-rucne-lisy/>>.
- [6] *Www.montec.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Montec, Gechter. Dostupné z WWW: <[http://www.montec.cz/gechter/gechter-monitorovaci\\_systemy\\_lisovaci\\_sily.php](http://www.montec.cz/gechter/gechter-monitorovaci_systemy_lisovaci_sily.php)>.
- [7] *Www.ampo.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. AMPO o.z.z.o. Dostupné z WWW: <<http://www.ampo.cz/produkty/tvareci-stroje-a-prislusenstvi/pneumaticke-lisy-prna>>.
- [8] *Www.pneumaticke-prvky.com* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Pneumatické prvky HAS CZ. Dostupné z WWW: <[http://www.pneumaticke-prvky.com/Pneumaticke-valce-c1\\_0\\_1.htm](http://www.pneumaticke-prvky.com/Pneumaticke-valce-c1_0_1.htm)>.
- [9] *Www.mpc-edu.sk* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Pneumatické mechanizmy. Dostupné z WWW: <[http://www.mpc-edu.sk/library/files/m.\\_\\_up\\_k\\_\\_j.\\_alm\\_\\_iov\\_\\_pneumatick\\_\\_mechanizmy.pdf](http://www.mpc-edu.sk/library/files/m.__up_k__j._alm__iov__pneumatick__mechanizmy.pdf)>.
- [10] *Www.ab.com* [online]. 2014 [cit. 2015-02-14]. Rockwell Automation. Dostupné z WWW: <<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12772/6543185/6543187/11502203/6920335/print.html>>.
- [11] *Www.festo.com* [online]. 2014 [cit. 2015-02-14]. Valec s vedením DFM, metrický. Dostupné z WWW: <[https://www.festo.com/cat/sk\\_sk/products\\_DFM](https://www.festo.com/cat/sk_sk/products_DFM)>.
- [12] *Www.festo.com* [online]. 2014 [cit. 2015-02-14]. Kruhové valce DSNU. Dostupné z WWW: <[https://www.festo.com/cat/sk\\_sk/products\\_DSNU\\_1](https://www.festo.com/cat/sk_sk/products_DSNU_1)>.

[13] LEINVEBER, Ján a Pavol VÁVRA. Strojnické tabuľky. 3. vyd Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.

[14] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanizmy díl I. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2005. 275 s.

[15] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanizmy díl II. – Řízení pneumatických systémů*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2005. 94 s.



## ZOZNAM PRÍLOH

Príloha I: Zoznam pneumatických prvkov

Výkres 1:	Telo prípravku 1	SRA0016-DP-001
Výkres 2:	Stredný vymedzovač	SRA0016-DP-002
Výkres 3:	Spodný doraz	SRA0016-DP-003
Výkres 4:	Vrchný doraz	SRA0016-DP-004
Výkres 5:	Bezp. kryt č. 1	SRA0016-DP-005
Výkres 6:	Bezp. kryt č. 2	SRA0016-DP-006
Výkres 7:	Úchyt	SRA0016-DP-009
Výkres 8:	Spojka vrchná	SRA0016-DP-011
Výkres 9:	Hl. nosný plech	SRA0016-DP-012
Výkres 10:	Spodný plech	SRA0016-DP-013
Výkres 11:	Spojka veľká	SRA0016-DP-014
Výkres 12:	Spodná doska prípravku	SRA0016-DP-015
Výkres 13:	Montážna hlavica	SRA0016-DP-016
Výkres 14:	Spojka malá	SRA0016-DP-017
Výkres 15:	Bezpečnostný doraz	SRA0016-DP-018
Výkres 16:	Montážny doraz	SRA0016-DP-022
Výkres 17:	Ustavovacie telo	SRA0016-DP-025
Výkres 18:	Ustavovacia tyč	SRA0016-DP-026
Výkres 19:	Ustavovací plech	SRA0016-DP-027
Výkres 20:	Vodiaci valec	SRA0016-DP-028
Výkres 21:	Oporný plech	SRA0016-DP-029
Výkres 22:	Oporná tyč	SRA0016-DP-030
Výkres 23:	Telo prípravku	SRA0016-DP-031
Výkres 24:	Noha prípravku	SRA0016-DP-032
Výkres 25:	Noha valca DSNU	SRA0016-DP-033
Výkres 26:	Bezpečnostný doraz	SRA0016-DP-034
Výkres 27:	Prípravok TBD O/S – zostava	SRA0016-DP-Z-01
Výkres 28:	Prípravok support b. – zostava	SRA0016-DP-Z-02
Výkres 29:	Lisovacie zariadenie – zostava	SRA0016-DP-Z-03
Výkres 30:	Lisovacie stredisko – zostava	SRA0016-DP-Z-04